

Universidad Publica de Navarra

Nafarroako Unibertsitate Publikoa

ESCUELA TECNICA SUPERIOR

NEKAZARITZAKO INGENIARIEN

DE INGENIEROS AGRONOMOS

GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKO

Evaluación de materiales biodegradables para acolchado en el cultivo de pimiento

presentado por

Francisco Javier Servera Díaz

INGENIERO AGRONOMO

NEKAZARITZA INGENIARITZA

Febrero 2014

RESUMEN

En España, el cultivo de pimiento al aire libre ocupa aproximadamente una superficie de 7000 ha, con un rendimiento medio de 30 t/ha. Al igual que en el cultivo de tomate, la mayoría de esta superficie utiliza el goteo como sistema de riego y el acolchado plástico como método de control de malas hierbas.

Además de controlar las malas hierbas sin necesidad de usar herbicida ni escardas manuales, la técnica del acolchado aumenta la eficiencia en el uso del agua y aumenta la temperatura del suelo. El material utilizado tradicionalmente como acolchado ha sido el polietileno, un material que tarda unos 200 años en degradarse. Esta lenta degradación y la dificultad de su retirada provocan que el suelo se contamine. Para evitarlo, han surgido nuevos materiales de acolchado que se degradan mucho más rápido y que mantienen las mismas ventajas del polietileno.

El objetivo de este trabajo fue estudiar el comportamiento agronómico de distintos materiales biodegradables en el cultivo del pimiento de tipo Lamuyo, en la variedad Claudio (Nunhems) de tipo Lamuyo. Se ensayaron tres nuevos materiales plásticos biodegradables de la casa comercial Sphere, dos acolchados de papel, el acolchado biodegradable Mater-Bi, y se compararon con el polietileno, con la escarda manual y con un testigo con malas hierbas. Se estudió la capacidad de control de malas hierbas, el efecto sobre la temperatura del suelo, la velocidad de degradación y el comportamiento del cultivo (desarrollo de la planta, producción y características de fruto). Además se hizo un análisis económico del uso de estos materiales, en comparación con el polietileno. Como resultado de este ensayo se concluyó que los materiales biodegradables son una alternativa al uso del polietileno para el acolchado en el cultivo de pimiento, comportándose de manera similar a este éste en campo, y reduciendo la contaminación del suelo que provocan los restos del acolchado de polietileno.

ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN.

1.1.- EL CULTIVO DEL PIMIENTO.

1.1.1.-Origen.

1.1.2.- Importancia y distribución geográfica.

1.1.3.- Clasificación taxonómica.

1.1.4.- Morfología.

1.1.5.- Composición nutricional.

1.1.6.- Requerimientos edafoclimáticos.

1.1.7.- Labores culturales.

1.1.7.1.- Elección de la parcela y rotaciones.

1.1.7.2.- Preparación del terreno.

1.1.7.3.- Siembra.

1.1.7.4.- Plantación.

1.1.7.5.- Riegos.

1.1.7.6.- Fertilización.

1.1.7.7.- Recolección.

1.2.- MALAS HIERBAS.

1.3.- CONTROL DE MALAS HIERBAS.

1.3.1.- Tratamientos con herbicidas.

1.3.2.- Escarda manual y mecánica.

1.3.3.- Piroescarda.

1.3.4.-Acolchados.

1.4.- ACOLCHADOS.

1.4.1.- Acolchados plásticos.

1.4.2.- Acolchados plásticos biodegradables.

1.4.3.- Acolchados plásticos fotodegradables.

1.4.4.- Acolchados plásticos oxobiodegradables.

1.4.5.- Acolchados de papel.

1.4.6.- Acolchados con restos vegetales.

2.- OBJETIVOS.

3.-MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1.- MATERIAL VEGETAL.

3.2.- CARACTERÍSTICAS DE LA PARCELA DE ENSAYO.

3.2.1.- Localización.

3.2.2.-Caracterización meteorológica.

3.2.3.-Calidad del agua de riego.

3.3.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO.

3.4.- PARÁMETROS A DETERMINAR.

3.4.1.- Temperatura del suelo.

3.4.2.- Desarrollo vegetativo de la planta de pimiento.

3.4.3.- Presencia de malas hierbas.

3.4.4.- Degradación de los acolchados.

3.4.5.- Producción.

3.4.6.- Características del fruto.

3.5.- MANEJO DEL CULTIVO.

3.6.- TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LOS DATOS.

4.-RESULTADOS.

4.1.- EVOLUCIÓN DE LA TEMPERATURA DEL SUELO.

4.2.- EVOLUCIÓN DEL CRECIMIENTO DEL CULTIVO.

4.3.- EVOLUCIÓN DE LA BIOMASA DE LAS PLANTAS DE PIMIENTO.

4.4.- CONTROL DE MALAS HIERBAS.

4.5.- VALORACIÓN DE LOS ACOLCHADOS.

4.5.1.-Degradación zona externa.

4.5.2.-Degradación zona enterrada.

4.5.3.-Presencia de lesiones.

4.5.4.-Resistencia a los tirones.

4.6.- PRODUCCIÓN.

4.6.1.- Producción precoz.

4.6.2.- Producción total.

4.7.- CARACTERÍSTICAS DEL FRUTO.

4.8.- ANALISIS ECONÓMICO.

5.- CONCLUSIONES.

6.- BIBLIOGRAFIA.

ANEXO 1.- Imágenes de degradación de la parte externa.

ANEXO 2.- Imágenes de degradación de la parte enterrada.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Serie histórica de superficie, rendimiento, producción, precio, valor comercial y comercio exterior en pimiento.

Tabla 2.- Análisis provincial de superficie, rendimiento y producción en pimiento.

Tabla 3.- Producción (en t.) de pimiento en Navarra 2000-2011.

Tabla 4.- Características técnicas de los materiales utilizados en el ensayo de acolchados.

Tabla 5.- Tareas realizadas en el ensayo.

Tabla 6.- Separación de medias de la altura de las plantas de pimiento (cm) en distintas fechas a lo largo del ciclo de cultivo.

Tabla 7.- Degradación de la zona externa de los materiales de acolchado durante todo el ciclo de cultivo y tras la recolección.

Tabla 8.- Degradación de la zona enterrada de los materiales de acolchado durante todo el ciclo de cultivo y tras la recolección.

Tabla 9.- Presencia de lesiones en los materiales de acolchado a los 14, 31, 46, 84, 118, 165 y 202 días después del trasplante.

Tabla 10.- Resistencia a los tirones en los materiales de acolchado a los 14, 31, 46, 84, 118, 165 y 202 días después del trasplante.

Tabla 11.- Producción precoz de pimiento.

Tabla 12.- Porcentaje de pimiento precoz comercial, de destrio, soleado y lacio.

Tabla 13.- Producción total de pimiento.

Tabla 14.- Porcentaje de pimiento comercial, de destrio, soleado, lacio y podrido.

Tabla 15.- Costes de cultivo comunes a todos los tratamientos.

Tabla 16.- Coste de recolección para cada tratamiento.

Tabla 17.- Costes de los materiales de acolchado.

Tabla 18.- Resumen de costes para los diferentes tratamientos.

Tabla 19.- Resumen de ingresos para cada tratamiento.

Tabla 20.- Beneficio para cada tratamiento y porcentaje respecto a PE.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ortofoto de la zona, delimitando en rojo la Finca Experimental de Cadreita.

Figura 2.- Temperaturas máximas, medias y mínimas registradas en Caderita durante el ciclo de cultivo.

Figura 3.- Precipitaciones registradas en Cadreita durante el ciclo del cultivo.

Figura 4.- Radiación solar durante el ciclo del cultivo.

Figura 5. Croquis del ensayo.

Figura 6.- Referencia visual de los valores 9, 6, 3 y 1 de la escala de degradación de Novamont.

Figura 7.- Temperaturas medias registradas bajo los distintos acolchados y temperatura media del aire.

Figura 8.- Temperaturas máximas registradas bajo los acolchados de pimiento y temperatura máxima del aire.

Figura 9.- Temperaturas mínimas registradas bajo los acolchados de pimiento y temperatura mínima del aire.

Figura 10.- Evolución de la altura de las plantas de pimiento a lo largo del ciclo de cultivo (cm).

Figura 11.- Peso seco (g) de las plantas de pimiento a los 62 días después de trasplante.

Figura 12.- Peso seco (g) de hojas y tallos a los 62 días después de trasplante.

Figura 13.- Peso seco (g) de los frutos a los 62 días después de trasplante.

Figura 14.- Peso seco (g) de las plantas de pimiento a los 97 días después de trasplante.

Figura 15.- Peso seco (g) de hojas y tallos a los 97 días después de trasplante.

Figura 16.- Peso seco (g) de los frutos a los 97 días después de trasplante.

Figura 17.- Rotura transversal en papel Mimcord.

Figura 18.- Mala hierba en agujero de acolchado.

Figura 19.- Aspecto general del testigo sin desherbar a los 61 días después de trasplante en comparación con una parcela elemental acolchada.

Figura 20.- Detalle del testigo sin desherbar a los 84 días después de trasplante.

Figura 21.- Principales malas hierbas presentes en el ensayo.

Figura 22.- Número de malas hierbas por metro cuadrado separadas por especies en el testigo sin desherbar.

Figura 23.- Peso seco malas hierbas por metro cuadrado (g/m²) a los 63 días después de trasplante.

Figura 24.- Instalación del acolchado de polietileno.

Figura 25.- Instalación del acolchado de papel Verso.

Figura 26.- Instalación del acolchado de papel Mimcord.

Figura 27.- Aspecto de los acolchados de papel antes y después de la lluvia.

Figura 28.- Raja longitudinal provocada por la elevada tensión del acolchado.

Figura 29.- Producción de pimiento precoz separado en comercial y no comercial (t/ha).

Figura 30.- Producción total de pimiento separado en comercial y no comercial (t/ha).

Figura 31.- Porcentaje de producción comercial cosechado en cada fecha.

Figura 32.- Peso medio (g) de fruto de cada tratamiento.

Figura 33.- Longitud media (cm) de fruto de cada tratamiento.

Figura 34.- Anchura media (cm) de fruto de cada tratamiento.

Figura 35.- Grosor medio (mm) de la carne del fruto de cada tratamiento.

Figura 36.- Rendimiento en carne (%) de los frutos de cada tratamiento.

1.- INTRODUCCIÓN

1.1.- EL CULTIVO DEL PIMIENTO

1.1.1.-Origen

El pimiento es originario de la zona de Bolivia y Perú. Fue traído por los españoles a Europa tras el descubrimiento de América, y desde aquí se distribuyó al resto del mundo. Su introducción en Europa supuso un avance culinario ya que sustituyó a la pimienta negra (*Piper nigrum* L.), de gran importancia comercial entre Oriente y Occidente.

1.1.2.- Importancia y distribución geográfica

El pimiento se cultiva en todas las zonas templadas y cálidas del mundo, siendo China el mayor productor, seguido de México y Turquía. España ocupa el sexto puesto con una producción en el año 2011 de 921.089 millones de toneladas (Faostat, 2013).

En España, la superficie se ha ido reduciendo, pasando de 22.800 ha en 2001 a las 17.600 ha del 2011 (Magrama, 2013) (Tabla 1). El rendimiento ha aumentado, haciendo que la producción total se haya mantenido en torno al millón de toneladas. Del total producido, aproximadamente el 40% tiene como destino la exportación.

Tabla 1.- Serie histórica de superficie, rendimiento, producción, precio, valor comercial y comercio exterior en pimiento (MAGRAMA, 2013)

Años	Superficie (miles de hectáreas)	Rendimiento (qm/ha)	Producción (miles de toneladas)	Precio medio percibido por los agricultores (euros/100kg)	Valor (miles de euros)
2001	22,8	430	979,2	64,70	633.511
2002	23,0	460	1.056,8	60,39	638.180
2003	22,4	472	1.056,2	78,23	826.251
2004	22,7	473	1.075,5	86,36	928.810
2005	23,7	448	1.060,4	67,86	719.562
2006	23,7	484	1.147,8	69,11	793.227
2007	21,8	485	1.057,5	85,24	901.441
2008	18,7	491	918,1	84,76	778.215
2009	18,9	491	929,3	69,99	650.429
2010	18,0	486	873,0	83,80	731.583
2011	17,6	522	918,5	66,14	607.528

Según datos del ministerio de agricultura, en 2011, en España se plantaron 17.600 ha de pimiento, la mayor parte de la producción era de invernadero, con 10.367 hectáreas, mientras que 6.984 hectáreas eran al aire libre (MAGRAMA, 2013).

Por regiones, Almería es la principal productora, seguida de Galicia, Murcia y Castilla-La Mancha (Tabla 2). La producción de Almería y Murcia es casi toda en invernadero, con destino a la venta en fresco, mientras que en otras regiones como Castilla-La Mancha o Navarra la

producción mayoritaria es al aire libre y su destino es la industria, ya sea congeladora o conservera.

Tabla 2.- Análisis provincial de superficie, rendimiento y producción en pimiento. Año 2011. (MAGRAMA, 2013).

Provincias y Comunidades Autónomas	Superficie (hectáreas)			Total	Rendimiento (kg/ha)			Producción (toneladas)
	Secano	Regadío			Secano	Regadío		
		Aire libre	Protegido			Aire libre	Protegido	
A Coruña	13	197	231	441	4.500	71.148	42.800	23.961
Lugo	3	73	94	170	6.500	41.500	52.525	7.986
Ourense	3	121	132	256	12.400	46.730	52.500	12.622
Pontevedra	17	210	243	470	12.400	55.600	56.803	25.690
GALICIA	36	601	700	1.337	9.056	57.198	50.796	70.259
P. DE ASTURIAS	13	2	3	18	10.000	20.000	30.000	260
CANTABRIA	10	–	–	10	16.000	–	–	160
Alava	–	39	6	45	–	16.000	26.500	783
Guipúzcoa	10	21	7	38	6.500	14.000	28.000	555
Vizcaya	105	74	37	216	10.250	19.000	29.600	3.577
PAÍS VASCO	115	134	50	299	9.924	17.343	29.004	4.915
NAVARRA	–	770	6	776	–	25.647	21.350	19.876
LA RIOJA	–	169	3	172	–	25.000	42.000	4.351
Huesca	–	3	–	3	–	36.000	–	108
Teruel	–	–	–	–	–	–	–	–
Zaragoza	–	174	1	175	–	13.300	27.000	2.341
ARAGÓN	–	177	1	178	–	13.685	27.000	2.449
Barcelona	1	107	12	120	804	23.151	42.582	2.989
Girona	–	55	–	55	–	21.958	–	1.208
Lleida	–	54	–	54	–	21.595	–	1.166
Tarragona	–	167	–	167	–	23.055	–	3.850
CATALUÑA	1	383	12	396	804	22.718	42.582	9.213
BALEARES	–	59	28	87	–	24.100	40.200	2.548
Avila	–	21	–	21	–	16.000	–	336
Burgos	–	3	–	3	–	25.000	–	75
León	–	106	4	110	–	22.300	55.400	2.585
Palencia	2	6	–	8	5.000	7.667	–	56
Salamanca	–	8	–	8	–	15.000	–	120
Segovia	–	31	–	31	–	20.000	–	620
Soria	–	–	–	–	–	–	–	–
Valladolid	–	38	–	38	–	20.000	–	760
Zamora	–	58	5	63	–	20.000	90.000	1.610
CASTILLA Y LEÓN	2	271	9	282	5.000	20.224	74.622	6.162

MADRID	–	30	–	30	–	25.000	–	750
Albacete	–	69	35	104	–	16.000	35.400	2.343
Ciudad Real	–	700	–	700	–	40.000	–	28.000
Cuenca	–	23	–	23	–	43.000	–	989
Guadalajara	–	3	–	3	–	19.000	–	57
Toledo	–	408	–	408	–	37.191	–	15.174
CASTILLA-LA MANCHA	–	1.203	35	1.238	–	37.676	35.400	46.563
Alicante	–	15	185	200	–	38.333	115.676	21.975
Castellón	3	138	6	147	10.000	16.246	30.000	2.452
Valencia	–	–	307	307	–	–	46.000	14.122
C. VALENCIANA	3	153	498	654	10.000	18.411	71.691	38.549
R. DE MURCIA	–	146	1.188	1.334	–	44.000	88.000	110.968
Badajoz	–	161	12	173	–	38.075	250.000	9.130
Cáceres	–	297	1	298	–	33.165	250.000	10.100
EXTREMADURA	–	458	13	471	–	34.891	250.000	19.230
Almería	–	60	7.240	7.300	–	23.350	64.760	470.263
Cádiz	–	700	–	700	–	41.980	–	29.386
Córdoba	2	251	1	254	8.000	20.000	60.000	5.096
Granada	–	310	254	564	–	34.282	69.775	28.350
Huelva	18	162	–	180	10.900	42.000	–	7.000
Jaén	–	207	–	207	–	27.739	–	5.742
Málaga	2	331	195	528	1.900	20.180	42.000	14.873
Sevilla	35	340	40	415	7.500	27.369	48.500	11.508
ANDALUCÍA	57	2.361	7.730	10.148	8.395	31.752	64.266	572.218
Las Palmas	7	51	29	87	10.000	49.706	82.586	5.000
S.C. de Tenerife	–	16	62	78	–	28.100	74.659	5.078
CANARIAS	7	67	91	165	10.000	44.546	77.185	10.078
ESPAÑA	244	6.984	10.367	17.595	9.617	32.644	66.386	918.549

En Navarra, la superficie dedicada a pimiento en el año 2011 fue de 776 hectáreas, de las cuales 770 eran de cultivo al aire libre y 6 de invernadero, de las que se obtienen en total 19.876 t. En la tabla 3 se nota un claro descenso desde que en 2003 se alcanzasen las 1.327 hectáreas. En cuanto a producción, se ve un aumento en toneladas, pese al descenso en superficie. Esto se debe al aumento del rendimiento, entre otras causas gracias al uso de acolchados y de riego por goteo.

Tabla 3.- Producción (en t.) de pimiento en Navarra 2000-2011 (Gobierno de Navarra, 2012).

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Pimiento piquillo	8.893	7.544	9.720	6.453	6.196	8.383	7.519	8.754	7.617	6.292	4.915	6.037
Pimiento morrón	3.264	4.300	4.284	2.654	3.788	7.890	7.624	8.875	9.435	10.740	8.175	12.330
Pimiento plaza	1.364	1.320	1.310	1.552	2.081	1.551	1.307	1.587	1.687	1.575	1.467	1.509
Total	13.520	13.164	15.314	10.659	12.065	17.824	16.450	19.216	18.739	18.607	14.557	19.876

1.1.3.- Clasificación taxonómica

Clasificación botánica (Ascaso, 2001):

Subdivisión: *Angiospermophytina*

Clase: *Dicotyledoneae*

Orden: *Solanales*

Familia: *Solanaceae*

Género: *Capsicum*

Especie: *Capsicum annum L.*

1.1.4.- Morfología

Planta herbáceo-perenne que tiene un ciclo anual. Su porte varía entre los 0.5 metros en algunas variedades cultivadas al aire libre, y los 2 metros de los híbridos cultivados en invernadero.

Tiene un sistema radicular pivotante y profundo (según la profundidad y textura del suelo), con muchas raíces adventicias que pueden alcanzar una longitud comprendida entre 50 centímetros y 1 metro.

Su tallo principal tiene un crecimiento limitado y erecto. A partir de cierta altura, emite 2 o 3 ramificaciones según la variedad y continúa ramificándose de forma dicotómica hasta el final de su ciclo. Los tallos secundarios se bifurcan después de brotar varias hojas, y así sucesivamente.

Posee hojas enteras y lanceoladas con un ápice muy pronunciado y un peciolo largo. El haz es liso, suave al tacto (glabro) y, dependiendo de la variedad, de color verde más o menos intenso y brillante. De la base de la hoja, parte el nervio principal como una prolongación del peciolo. Los nervios secundarios parten del peciolo, son pronunciados y llegan casi al nervio de la hoja. Las hojas se insertan en el tallo de forma alterna y su tamaño varía en función de la variedad.

Las flores son pequeñas y con la corola blanca. Aparecen solitarias en cada nudo del tallo y se insertan en las axilas de las hojas. La polinización es autógama, aunque posee un porcentaje de alogamia que no supera el 10 %.

El fruto es una baya hueca, semicartilaginosa, de color variable (verde, rojo, amarillo, violeta, naranja). Su tamaño es variable y puede pesar desde unos pocos gramos hasta 500 gramos. Las semillas están insertas en una placenta cónica de disposición central, tienen una forma redondeada, ligeramente reniformes, de color pálido y de longitud variable entre 3 y 5 milímetros. (Trincado, 2004)

1.1.5.- Composición nutricional.

La composición nutricional de 100 g de parte comestible contienen (Delgado, 2004):

COMPUESTO	CANTIDAD
Agua	92 g
Calorías	20 Kcal
Carbohidratos	3,1 g
Grasas	0,3 g
Proteínas	0,6 g
Fibra	2,0 g
Cenizas	0,3 g
Calcio	10 mg
Potasio	213 mg
Fósforo	26 mg
Hierro	0,7 mg
Vitamina A	100 mg
Tiamina	0,066 mg
Riboflavina	0,030 mg
Niacina	0,509 mg
Ácido ascórbico	190 mg

1.1.6.- Requerimientos edafoclimáticos.

El manejo racional de los factores climáticos de forma conjunta es fundamental para el funcionamiento adecuado del cultivo, ya que todos se encuentran estrechamente relacionados y la actuación sobre uno de ellos incide sobre el resto.

a) Temperatura:

El pimiento es una planta exigente en temperatura (más que el tomate y menos que la berenjena).

Es una planta de clima subtropical, que requiere para la germinación de las semillas y primer desarrollo temperaturas mínimas de 7 grados. El resto del ciclo necesita calor y gran iluminación.

Su desarrollo óptimo se produce para temperaturas diurnas de 20-25°C y temperaturas nocturnas de 16-18°C. Por debajo de los 15°C su desarrollo se ve afectado y deja de crecer a partir de 10°C. Por encima de 35°C se produce caída de flores y se bloquea el proceso de fructificación.

Hacen falta 3 meses de calor para completar el ciclo en variedades precoces y 4 ó 5 para variedades normales.

Las heladas destruyen la parte aérea de la planta aunque si no han sido muy fuertes, la planta puede rebrotar de nuevo.

En resumen (Trincado, 2004):

- Heladas 1°C
- Cero vegetativo 8-10°C
- Desarrollo óptimo -día 25°C
 -noche 16-18°C
- Germinación - Tª mínima 7°C
 - Tª óptima 19-28°C
 - Tª máxima 40°C
- Cuajado - Tª mínima 18-20°C
 - Tª óptima 25°C
 - Tª máxima 35°C
- Oscilación máxima para evitar caída de frutos pequeños 10-12°C

b) Humedad

El pimiento requiere una humedad relativa entre 50-70%. Humedades relativas más elevadas favorecen el desarrollo de enfermedades aéreas y dificultan la fecundación.

La coincidencia de temperaturas elevadas y baja humedad relativa puede ocasionar la caída de flores y frutos recién cuajados.

c) Luminosidad

Es una planta muy exigente en luminosidad, sobre todo en los primeros estados de desarrollo y durante la floración.

d) Suelo

Los suelos más adecuados para el cultivo del pimiento son los franco-arenosos, profundos, ricos, con un contenido en materia orgánica del 3-4% y bien drenados.

Los valores de pH óptimos oscilan entre 6,5 y 7, aunque pueden resistir ciertas condiciones de acidez (hasta un pH de 5,5); en suelos enarenados puede cultivarse con valores de pH próximos a 8. En cuanto al agua de riego el pH óptimo es de 5,5 a 7.

Es una especie de moderada tolerancia a la salinidad, en menor medida que el tomate (Trincado, 2004).

1.1.7.- Labores culturales

En este apartado se va a describir las principales labores que se realizan en el cultivo de pimiento para industria en el Valle del Ebro.

1.1.7.1.- Elección de la parcela y rotaciones:

Las parcelas destinadas al cultivo de pimiento deben de ser llanas, con buen drenaje superficial e interno, con garantía de agua durante todo el ciclo, libre de obstáculos que impidan las actividades del cultivo, con pH entre 5.5-7, y con baja infestación de malas hierbas; deben evitarse los terrenos de subsuelos impermeables o excesivamente húmedos.

Las parcelas de pimiento deben rotarse, evitando la repetición cada tres años, para no tener problemas de *Verticilium dahliae*. Tampoco se debe cultivar en parcelas con problemas de *Phytophthora capsici*.

Cultivos precedentes más o menos favorables al pimiento (Trincado, 2004):

- Desaconsejable: tomate, berenjena, pimiento, patata y tabaco.
- Sin inconvenientes: apio, zanahoria, coliflor, nabo, rábano, col, lechuga, judías, guisantes, habas, veza y mostaza.
- Favorables: ajo, cebolla, puerro, maíz y cereales de invierno.

1.1.7.2.- Preparación del terreno:

La preparación del suelo es de suma importancia para poder lograr un buen desarrollo del cultivo y a la vez, obtener un mayor rendimiento, ya que en suelos mal preparados no se podrán alcanzar buenas producciones, aunque sean de calidad.

Normalmente se realiza un pase de chisel, a unos 30-40 centímetros de profundidad, para romper la primera capa del suelo.

Posteriormente, si se dispone de estiércol, se realiza un aporte del mismo. Este aporte se debe tener en cuenta a la hora de programar la fertilización.

Después, un pase de subsolador a una profundidad de 60 centímetros, que mezcle bien el estiércol con la tierra, y después el abonado de fondo. Las dosis de abonado se explican en el apartado de fertilización.

Con un pase de fresadora se prepara la capa superficial con tierra fina para, por último, con la acolchadora, colocar la manguera de goteo y el plástico de polietileno negro de 60 galgas, a la vez que se forman las mesas.

No es recomendable trabajar la tierra en fechas próximas a la plantación. En caso de que los suelos estén demasiado húmedos para las labores preparatorias, es mejor retrasar estos trabajos hasta que el suelo esté a tempero. De otra manera, se puede penalizar el cultivo desde el inicio.

1.1.7.3.- Siembra

El método de siembra utilizado para esta especie es el de trasplante. En los años 90 se hicieron intentos de siembra directa (Gutiérrez *et al*, 2002), pero sin mucho éxito debido a las características del cultivo. Debido al aumento en este cultivo de enfermedades producidas por virus, se propone la producción de las plantas en cepellones bajo condiciones protegidas:

- Se emplearán bandejas de 247 alveolos, con dimensiones de alveolo de 2,9 x 2,9 x 5,5 cm o similares.
- En todos los casos se utilizará un sustrato certificado.
- Se requiere de un estricto programa de protección fitosanitaria de la semilla.
- El riego deberá ser preferiblemente por microaspersión aérea.

1.1.7.4.- Plantación

Se ha abandonado la plantación a raíz desnuda y actualmente se planta con cepellón de turba. El sistema de plantación tradicional sigue siendo manual con plantador, frente al aumento del uso de máquinas plantadoras de pinzas o de cazos, en aquellas explotaciones de mayor extensión.

La plantación se realiza previo riego de reserva, y cuando la capa superficial permita el paso de la plantadora, se entrará con ella para trasplantar; posteriormente se dará otro riego.

El número de plantas por hectárea normalmente es de 35.000 en cepellones de una planta, con un marco de 1,6 m X 0,35 m en dos líneas paralelas al tresbolillo por mesa de cultivo (Macua, 2011). Hay algunas variedades como las de tipo piquillo en las que el número de plantas puede alcanzar las 40.000 plantas/ha (Trincado, 2004).

1.1.7.5.- Riegos

El pimiento tiene una alta demanda de agua, prefiriendo los riegos cortos y frecuentes que es capaz de dar el sistema de riego por goteo. El consumo de agua puede oscilar entre 4.500 y 5.000 m³ por hectárea.

Previo a la plantación se da un riego para saturar la tierra de la mesa de plantación, y tras la plantación se darán varios riegos ligeros en los días siguientes a la plantación para que el cepellón haga buen contacto con la tierra húmeda.

Este cultivo es sensible, tanto al exceso de humedad, como a un riego escaso. Una fuerte precipitación o aplicación excesiva de riego durante la etapa de floración, provoca la caída de las flores y por consiguiente, una pobre formación de frutos. Durante el período de maduración, el exceso de riego ocasiona la pudrición de los frutos.

1.1.7.6.- Fertilización

Depende principalmente de la naturaleza química y física del suelo, de la variedad de pimiento, de la densidad de plantación y del riego. En todos los casos debe tenerse en cuenta los

elementos extraídos del suelo por tonelada producida, y debe realizarse un análisis de la fertilidad del suelo.

Con las labores preparatorias se incorporarán tanto el abono mineral de fondo como los estiércoles y purines. De éstos, hay que tener en cuenta el tipo, cantidad y riqueza para no sobrepasar en total las UF/ha.

Como recomendación general, se propone en fertilización de fondo (Macua, 2011):

- N 50-60 UF/Ha
- P₂O₅ 100-120 UF/Ha
- K₂O 150 UF/Ha

La cobertera se aportará generalmente en fertirrigación con N-32. La cantidad será de 135 UF/ha de nitrógeno para los tipos guindilla, california y morrón (130 UF/ha en zonas vulnerables a la contaminación por nitratos). Para pimiento del piquillo será 100 UF/ha ya que tiene menores necesidades de nitrógeno (Macua, 2011).

1.1.7.7.- Recolección

La recolección se realiza a mano. Los frutos se pueden recoger antes de la maduración o durante la misma, según sean las necesidades del mercado.

Las recolecciones tradicionales dependen del tipo de pimiento recolectado y de los sistemas de cultivo aplicados. Así pues, el periodo de recolección cuando se utiliza acolchado comienza a finales de agosto, mientras que en el sistema tradicional va de septiembre a noviembre.

El número de recolecciones también depende del tipo de pimiento, siendo en piquillo de dos o tres, y en morrón de dos. En los pimientos de tipo california, el número de pases obedece a las necesidades de la industria, pero lo normal es dos recolecciones en rojo y una en entreverado, o una en verde, dos en rojo y una en entreverado.

El problema de la recolección es el que más ha condicionado el desarrollo del cultivo, fundamentalmente por los elevados costes de mano de obra que suponen en algunas variedades el 30% de los gastos totales. En los últimos años se han adaptado sistemas que ayudan a la recolección, como las cintas excéntricas (Gutiérrez *et al*, 2002).

1.2.- MALAS HIERBAS

No existe una definición botánica precisa del término mala hierba, ya que su significado es más bien amplio y a veces ambiguo. Font Quer (1953) lo define como “Hierba que sin sembrarla medra en los cultivos en gran profusión”.

Según Pujadas y Hernández (1988), las malas hierbas son plantas que crecen siempre o de forma predominante en situaciones marcadamente alteradas por el hombre y que resultan no deseables por él, en un momento y lugar determinado.

Otra definición dada por Labrada y Parker (1994) es la de “aquellas plantas que interfieren con la actividad humana en áreas cultivables y no cultivables”.

Son muchas las situaciones en que una planta puede ser considerada mala hierba. Pueden ser especies cuyo comportamiento implica una competencia por la luz, el agua o los nutrientes con el cultivo. En otras ocasiones pueden segregar sustancias alelopáticas que afecten negativamente a la especie cultivada, pueden ser hospedantes de plagas y enfermedades, o entorpecer las operaciones mecánicas, o sus semillas pueden contaminar la cosecha. Otras veces las malas hierbas pueden tener un fin alimenticio o medicinal, o previenen la erosión en áreas de barbecho. En definitiva, el concepto de mala hierba es relativo y antropocéntrico, e incluye una gran parte de subjetividad. En unas determinadas circunstancias una planta puede resultar claramente indeseable y en otras puede ser indiferente, o incluso deseada.

Las malas hierbas son capaces de invadir nuevos hábitats, de persistir en ellos a pesar de las alteraciones provocadas por el hombre, y de competir de forma ventajosa con las plantas cultivadas. Esto lo consiguen gracias a su facilidad de dispersión, a su capacidad de persistencia (elevada producción de semillas, largo periodo de viabilidad, germinación escalonada, y cierta plasticidad fisiológica y genética) y a su buena capacidad de competencia (provocada por una elevada densidad, una nascencia sincronizada con el cultivo, un buen vigor, su capacidad de rebrote y su morfología y fisiología) (García Torres y Fernández Quintanilla, 1991).

Los daños causados por las malas hierbas se deben a diversas causas (Maestre, 2003):

- Reducción de los rendimientos: debido a la competencia por la luz, el agua y los nutrientes.
- Interferencia con la recolección: la presencia de malas hierbas adelanta o retrasa la recolección.
- Reducción del valor de la cosecha: la presencia de impurezas puede acarrear humedad, olor, sabor o sustancias nocivas.
- Incremento de los costes de producción: por el uso de herbicidas, por el laboreo, por la mano de obra y por la necesidad de realizar rotaciones con cultivos poco rentables.

Todo esto se traduce en una reducción de las ganancias. Esta reducción se calcula experimentalmente mediante la comparación de áreas totalmente infestadas de malezas con parcelas testigo libres de malezas. Aunque experimentalmente la eliminación completa de las malezas es posible, a nivel práctico y económico resulta poco factible. El nivel óptimo de control de malas hierbas es aquel que proporciona la mayor ganancia (Auld, 1994).

Las pérdidas causadas por la competencia entre las malas hierbas y el cultivo varían en función del tipo de malas hierbas, de la densidad, del periodo de emergencia, de las condiciones climáticas del año, y de la duración del periodo de competencia.

Además, las relaciones de competencia dependen de factores extrínsecos que el agricultor puede variar. Según Maestre (2003), estos son:

- El tipo de cultivo y la variedad, ya que la altura, periodo y velocidad de crecimiento varían mucho.
- Densidad y uniformidad de la siembra, ya que cultivos densos dificultan la aparición de malas hierbas.
- La época de emergencia del cultivo, ya que las primeras plantas adquieren ventaja sobre el resto. Por esto, la época más importante para mantener el cultivo libre de malas hierbas es su etapa inicial.

Las principales especies de flora arvense asociadas al cultivo del pimiento en la zona del valle del Ebro son (Medina *et al*, 1993):

- Dicotiledóneas: *Xanthium strumarium*, *Sonchus oleraceus*, *Amaranthus retroflexus*, *Anacyclus clavatus*, *Chenopodium vulvaria*, *Sinapis arvensis*, *Xanthium spinosum*, *Portulaca oleracea*, *Amaranthus hybridus*, y *Diplotaxis eruroides*.
- Gramíneas: *Echinochloa crus-galli*, *Setaria verticillata*, *Setaria pumila* y *Digitaria sanguinalis*.
- Perennes: *Cynodon dactylon*, *Sorghum halapense*, *Cyperus rotundus*, y *Equisetum ramossissimum*.

1.3.- CONTROL DE MALAS HIERBAS

Existen numerosos métodos para el control de las malas hierbas, todos ellos con ventajas e inconvenientes que el técnico tiene que analizar en cada agroecosistema, para escoger e integrar aquellos procedimientos que se adapten mejor a su situación particular.

En protección de cultivos se aboga por el control integrado, es decir, el uso planificado de métodos físicos, químicos y biológicos para controlar las malas hierbas (Hatcher y Melander, 2003). Rao (1983) escribe “el objetivo principal de un sistema de manejo de malezas es mantener un medio ambiente que sea tan adverso a las malezas como sea posible mediante el empleo de medidas, tanto preventivas como de control, a través del uso de métodos mecánicos, biológicos y químicos, solos o combinados”.

Los métodos tradicionales ya se basan en la integración de una variedad de métodos culturales y físicos, que junto con una aplicación moderada de herbicidas, han demostrado ventajas en comparación al uso excesivo de herbicidas. Esta última práctica puede ocasionar desequilibrios indeseables de la flora y provocar la predominancia de especies perennes u otras resistentes a los herbicidas en uso (Labrada y Parker, 1994).

Los conocimientos básicos para un manejo de malezas adecuado son (Labrada y Parker, 1994):

- Identificación de las malezas y su nivel de infestación.
- Biología y ecología de las especies de malezas predominantes.
- El efecto competitivo y los umbrales económicos de las especies de malezas predominantes.

- Métodos de control técnicamente efectivos, económicamente viables y seguros para el ambiente.

A continuación se exponen los métodos para el control de malas hierbas en el cultivo del pimiento.

1.3.1.- Tratamientos con herbicidas

Desde la aparición de los herbicidas en España en la década de los 50, estos fueron desplazando poco a poco a otras técnicas culturales o físicas hasta entonces utilizadas en el control de las malezas. El consumo mundial de herbicidas en el año 2011 fue de 497.293 toneladas, siendo el grupo de fitosanitarios más consumido (FAO, 2013). En los países industrializados, los herbicidas se aplican sobre el 85-100% de todos los cultivos principales (Caseley, 1994).

Las principales causas por las que los herbicidas han desplazado a las labores culturales son: su facilidad de manejo, su rapidez de aplicación, disminuyendo los costes de las labores de escarda, su efectividad debida a la gran cantidad de productos existentes, y el desarrollo e investigación de nuevos productos.

Para los cultivos extensivos existe una amplia gama de herbicidas, pero para los cultivos hortícolas la oferta de herbicidas es más limitada, debido a la menor extensión que ocupan estos en comparación con los cultivos extensivos. Para las casas comerciales, los cultivos hortícolas son poco atractivos. Esto provoca que los agricultores utilicen herbicidas poco selectivos que acaban provocando fitotoxicidades.

Respecto a los factores que afectan al medio ambiente, se tiene especial preocupación por la contaminación de aguas subterráneas y superficiales, dado que muchas de las áreas de producción hortícola son cercanas a lugares con la capa freática muy superficial en llanuras aluviales de ríos.

Un problema asociado al uso indiscriminado de herbicidas es la aparición de especies resistentes a determinadas formulaciones. Se asume que cualquier población de malezas puede tener biotipos resistentes en baja frecuencia, debido a mutaciones que ocurren naturalmente. El uso repetido de un mismo herbicida expone a la población a una presión de selección que conduce al aumento del número de individuos resistentes. Los biotipos susceptibles mueren mientras que los resistentes sobreviven formando propágulos. Si persiste la aplicación de herbicidas que actúan en el mismo sitio de acción, la población del biotipo resistente aumenta en relación a la del susceptible (Villalba, 2009).

1.3.2.- Escarda manual y mecánica.

La escarda manual es el método más sencillo de eliminación de malas hierbas. Consiste en el arrancamiento, enterramiento, corte o fragmentación de las plantas, antes, durante o después del cultivo. Fue empleada hasta mediados del siglo XX, cuando se sustituyó por los procedimientos mecánicos.

Los cultivadores de cepillos múltiples, rotativos o vibradores, permiten la escarda de cultivos entre líneas y en estados precoces. Su labor es muy poco profunda (hasta 5 cm), las hierbas anuales son arrancadas y expuestas al aire (Zaragoza *et al*, 1993).

Según Colquhoua y Bellinder (2003) la eficacia de los cepillos permite intervenir en postemergencia, incluso cuando las malas hierbas son grandes, sin tener apenas incidencia sobre las raíces del cultivo, ni sobre el suelo. Sin embargo su coste de adquisición, su bajo rendimiento y la necesidad de mano de obra han provocado que su uso no esté extendido en la actualidad.

Los ensayos realizados en tomate por Suso *et al.*, (2003) determinaron que el cepillado mecánico obtuvo un control muy deficiente de las malas hierbas, con producciones significativamente inferiores a las de los tratamientos de acolchado plástico.

1.3.3.- Piroescarda

La piroescarda engloba una serie de métodos físicos que utilizan altas y bajas temperaturas para el control de la maleza. Entre estos métodos se encuentran la radiación por infrarrojos, la aplicación de vapor de agua, el nitrógeno líquido, diferentes métodos electrotérmicos y la llama directa.

La piroescarda por altas temperaturas no debe confundirse con el fuego, ya que esta no quema las plantas sino que las calienta rápidamente, con lo que se rompen las membranas de las células y la planta se deshidrata (Ascard, 1995).

La efectividad de la piroescarda está condicionada por las características morfológicas de las plantas, su estado de crecimiento, su tamaño o la densidad de plantas. También por otros factores como la humedad de las hojas, el viento o la presencia de materiales secos inflamables.

Según Suso *et al.* (2003), la piroescarda con termodesherbadores obtuvo un control muy deficiente de las malas hierbas, lo que se tradujo en una producción muy inferior a la obtenida en el acolchado plástico.

La principal ventaja de estos métodos es que no dejan residuos, y que son capaces de controlar poblaciones de malas hierbas resistentes a herbicidas. Por el contrario, un menor tiempo de efectividad, una baja selectividad, su elevada necesidad de energía y la emisión de dióxido de carbono son sus desventajas.

1.3.4.-Acolchados

Una de las alternativas al uso indiscriminado de herbicidas son las cubiertas plásticas. El acolchado es una técnica de semiforzado que consiste en cubrir total o parcialmente el terreno de cultivo con una lámina de plástico u otros materiales alternativos. Éstos van a tener una función de barrera, bien evitando que la luz llegue a las semillas latentes que hay en el suelo, o por simple barrera física evitando su emergencia (Moreno *et al*, 2006).

Un acolchado puede ser de muchas formas: una cobertura vegetal de plantas vivas, diversos trozos de partículas orgánicas e inorgánicas esparcidas sobre el suelo o láminas de materiales artificiales o naturales.

Es de sobra conocido que el empleo del acolchado reporta ventajas como el incremento de la temperatura del suelo, mejor aprovechamiento del agua, aprovechamiento más eficiente de los nutrientes (Hoyos *et al.*, 2003). En caso de ser un acolchado opaco, la falta de radiación solar evita el desarrollo de malas hierbas que compitan con el cultivo por los recursos hídricos y nutritivos.

En el siguiente apartado se abordará con mayor profundidad el tema de acolchados, sus tipos y su problemática.

1.4.- ACOLCHADOS

La cubierta vegetal, acolchado o mulching es una técnica empleada en la agricultura para proteger los cultivos y el suelo de la acción de los agentes atmosféricos. Estos agentes, entre otros efectos, reducen la calidad de los frutos, disminuyen las producciones por competencia con las malas hierbas, resecan el suelo, enfrían la tierra, arrastran los fertilizantes y al final incrementan los costos por unidad de producto (Gutiérrez *et al.* 2003).

Para reducir estos efectos, desde tiempos pasados el agricultor ideó la cubierta vegetal (hierba seca, paja, restos de serrín, ceniza, corteza de pino, etc.) y actualmente los acolchados con polietileno o papel, cubriendo el terreno como capa protectora. Esta capa tiene como objetivo reducir los efectos negativos de los agentes atmosféricos antes mencionados.

Los beneficios que aportan los acolchados son muy diversos (Zaragoza, 1994):

- Controlan las malas hierbas.
- Disminuyen la necesidad de escarda, mecánica o química.
- Aumenta el desarrollo de las raíces superficiales.
- Conservan la estructura del suelo.
- Evitan la compactación del suelo.
- Reducen la evaporación del agua del suelo.
- Aíslan térmicamente el suelo.

Las desventajas son:

- Gasto de instalación y mantenimiento.
- Mayor riesgo de heladas.
- Mayor incidencia de algunas plagas (roedores, caracoles, hongos).

- Posibles encharcamientos.
- No excluye el uso de herbicidas o escarda manual.
- Limitaciones propias de cada material (paja-incendio, paja-viento, plástico-retirada).

1.4.1.- Acolchados plásticos

En general, los plásticos se componen de polímeros (macromoléculas producto de la unión de monómeros) y aditivos (sustancias que se agregan al polímero y que le confieren distintas características).

Las ventajas que se atribuyen al uso de plásticos como acolchado son (Moreno *et al*, 2006):

- Mantiene la humedad del suelo al disminuir la evaporación, facilitando que las raíces de las plantas encuentren humedad suficiente a poca profundidad.
- Debido a la formación de esta humedad superficial se reduce el lavado de elementos fertilizantes.
- Mejora las condiciones térmicas del sistema radicular, lo que confiere precocidad al cultivo.
- Como consecuencia del aumento de la temperatura y de la humedad del suelo, se favorece el proceso de nitrificación.
- La cubierta actúa como barrera entre el suelo y los frutos, reduciendo los problemas de podredumbres.
- Si el plástico es opaco, evita la emergencia de malas hierbas que compitan con el cultivo.

Los polímeros más utilizados como acolchado son el polietileno de baja densidad (LDPE), el polietileno lineal de baja densidad (LLDPE), el copolímero de acetato de vinilo (EVA), y en menor proporción el policloruro de vinilo (PVC). De ellos, el más utilizado como acolchado en pimiento es el polietileno lineal de baja densidad.

En el mercado se encuentra una gran variedad de plásticos que se comercializan con diferentes anchuras, espesores y colores.

En lo referente al color, los plásticos transparentes aportan mayor precocidad al cultivo, pero no controlan las malas hierbas y además, debido a la elevada evaporación de agua, se forman depósitos de sales en la superficie del suelo. Este tipo de plásticos se utilizan en cultivos con grandes necesidades caloríficas (Contreras *et al*, 2004).

Los plásticos opacos ejercen un control sobre las malas hierbas, y además no presentan el problema de acumulación de sales. Por ello, el polietileno negro se ha convertido en el acolchado de referencia a la hora de comparar diferentes tipos de plásticos.

Uno de los inconvenientes del uso de acolchado plástico es el precio. En general, se viene utilizando polietileno (PE) lineal de baja densidad de 15 micras (60 galgas), opaco y de color

negro, que pesa 13,8 g/m, y que tiene un precio de 2€/kg. A esto hay que añadir los costes de colocación y retirada, pero se compensa con la reducción de agua, fertilizante, menor uso de herbicida, mayor precocidad e incremento de la producción (Gutiérrez *et al.* 2003).

Además, algunas especies de malas hierbas perennes no son controladas, ya que perforan el plástico (*Cyperus spp.*) o aprovechan pequeñas fisuras (*Convolvulus arvensis*) o el agujero de la planta cultivada (*Portulaca oleracea*), por lo que se ha de recurrir a la escarda manual o al uso de herbicidas.

Otro inconveniente del uso del plástico de polietileno negro es que en años calurosos o en zonas muy cálidas el mismo puede perjudicar a los cultivos debido al excesivo calentamiento del suelo.

Sin embargo, el mayor inconveniente del uso de acolchados plásticos es la generación de residuos, y la progresiva contaminación de los suelos por la repetida utilización de plásticos, materiales derivados de hidrocarburos que no se incorporan a la cadena trófica. La recogida y reciclado de los plásticos sería una práctica costosa y a veces inviable (Moreno *et al.* 2006).

A nivel mundial, el consumo de plástico para acolchado fue de 650.000 toneladas en el año 2000, siendo la superficie acolchada con polietileno en España de 118.341 ha (Papaseit, 2001).

La dificultad en el manejo de los residuos comienza por su retirada, actividad lenta y laboriosa, debido a que el material se rompe con facilidad y además suele estar asociado a restos de cultivo y al suelo, por lo que es necesaria su separación para poder ser reciclado. Diferentes casas comerciales han desarrollado aperos de retirada de plásticos, aunque ello supone un costo añadido. Lo más normal es adaptar aperos (rastrillos, cultivadores, etc.), para recoger los trozos más grandes, mientras que los pequeños se incorporan al suelo en las labores de preparación del suelo para el cultivo siguiente.

La presencia de residuos de plásticos en los campos, además de afectar al medio ambiente, influye de forma negativa en los cultivos posteriores: en zonas agroindustriales se ha detectado ya un desacuerdo por parte de la industria para la utilización en sus procesos de determinadas hortalizas (guisante, espinaca, judía verde) cultivadas en parcelas con antecedentes de acolchado (Macua *et al.*, 2005).

Para tratar de solucionar este problema surgen los materiales biodegradables o de envejecimiento acelerado, que pueden ser dejados en la parcela o enterrados de manera, que los propios microorganismos del suelo se encarguen de eliminarlos.

Este tipo de acolchados deben de tener las mismas características agronómicas que los tradicionales, reduciendo el aporte hídrico, de abono y fitosanitarios, favoreciendo la precocidad, mejorando la calidad y el estado sanitario de los frutos y plantas, y actuando sobre la estructura del suelo.

La aparición de materiales opcionales al polietileno podría dar continuidad a la práctica del acolchado, en zonas de amplia presencia de esta modalidad y donde los costes, la topografía, la dificultad de aplicar sistemas mecanizados, etc., impidieran la retirada de este tipo de material; o bien, porque la introducción de materiales no contaminantes, puedan adjudicar a

esas producciones el marchamo de Integrado o Ecológico, incrementando el valor añadido de los productos, haciéndolos más competitivos ante la gran presencia que ejerce el sector hortícola de terceros países, que se gestionan con menores costes de cultivo (López-Marín *et al*, 2008).

1.4.2.- Acolchados plásticos biodegradables.

El concepto de degradación queda definido como “el proceso natural por el cual bacterias, hongos, levaduras y sus enzimas consumen unas sustancias como fuente de alimento a fin de que su forma original desaparezca. Bajo condiciones adecuadas de humedad, temperatura y oxígeno, la biodegradación es un proceso relativamente rápido que asegura la desaparición de un material sin dejar residuos tóxicos o ambientalmente perjudiciales” (Chandra y Rustgi, 1998).

Los acolchados con polímeros biodegradables, están constituidos por polímeros naturales como el almidón. Los microorganismos rompen las cadenas y causan su degradación en CO₂ y agua (Quezada *et al.*, 2000).

Los plásticos biodegradables tienen la ventaja de poder utilizar para su aplicación la misma maquinaria que los plásticos normales, ya que, aunque presentan propiedades mecánicas inferiores a las del polietileno, estas son suficientes para el acolchado mecánico. Sin embargo, estas propiedades pueden variar dependiendo de la composición química, de las condiciones ambientales de uso, almacenamiento, etc.

Los factores que influyen en su degradación son el espesor y color del acolchado, agentes mecánicos (maquinaria, seres vivos, etc.), el clima (lluvia, temperatura, radiación, etc.), la época de cultivo y el porte del cultivo (Macua *et al*, 2005).

En el INTIA se realizaron ensayos para comparar diferentes tipos de plásticos biodegradables con el polietileno negro de 60 galgas. Los resultados de estos ensayos fueron que los materiales biodegradables cumplieron las funciones del acolchado tradicional de precocidad, control de malas hierbas y aumento de la producción, con la ventaja añadida de degradación del plástico, ya que la parte enterrada se había descompuesto y la parte superficial desaparecería con una labor ligera (Macua *et al*, 2005).

El inconveniente de estos materiales es su elevado costo, de aproximadamente tres veces el coste del polietileno. Esto supone que en la mayoría de los cultivos se considere inviable económicamente. El incremento del precio de petróleo y el aumento de la demanda de este tipo de materiales podría suponer una reducción de los costes.

1.4.3.- Acolchados plásticos fotodegradables.

Los plásticos fotodegradables son materiales en los que algunos compuestos como monóxido de carbono o vinil-cetona son inyectados a intervalos en la cadena del polímero, lo que hace que la degradación sea más rápida y el polietileno se rompa en cadenas más cortas (Quezada *et al*, 2000).

La degradación por oxidación de la parte expuesta depende de la radiación ultravioleta, de la temperatura y de los aditivos de su composición. Sin embargo, la parte enterrada no se degrada si no es sacada a la luz, y aun así siempre quedan fragmentos de PE presentes en el suelo, aunque no estén a la vista (Macua *et al*, 2005).

Los filmes fotodegradables se descomponen por acción de la luz solar, pero por su composición podrían aportar metales pesados al suelo, y además se desconoce con exactitud el tiempo que tardan en degradarse, por lo que en ocasiones su rotura se puede producir en un plazo distinto al deseado (Moreno *et al*, 2006).

En el ensayo realizado por Quezada *et al.*, (2000b) se evaluó el comportamiento en campo de dos películas plásticas fotodegradables, comparándolas con dos películas convencionales y con suelo desnudo como control. Las películas fotodegradables se degradaron más rápidamente de lo esperado, aunque su efecto en el rendimiento fue similar al de las películas convencionales y superaron al tratamiento de suelo desnudo en desarrollo, precocidad y rendimiento.

1.4.4.- Acolchados plásticos oxobiodegradables.

Los plásticos oxobiodegradables están fabricados a base de polietileno de baja densidad enriquecido con un aditivo responsable, en primer lugar, de una oxidación en donde el plástico, por la reacción con el oxígeno, comienza a convertirse en fragmentos hidrofílicos (que atraen el agua) proporcionando un ambiente donde, en presencia de humedad y oxígeno, pueden desarrollarse y prosperar los microorganismos naturales. En una segunda etapa, las moléculas de los materiales oxidados son lo suficientemente pequeñas para que los microorganismos comiencen a consumir estos materiales, produciéndose dióxido de carbono, agua y biomasa. Para que estos procesos tengan lugar, el plástico debe estar sometido a calor, luz ultravioleta y estrés mecánico.

Una vez finalizada la campaña, el plástico enterrado debe ser sacado a la superficie.

1.4.5.- Acolchados de papel.

El papel es una alternativa al uso de plástico como acolchado, ya que es un material económico, biodegradable y que ofrece facilidades para su adquisición y manejo en explotaciones de tamaño grande y mediano. Además se obtiene de fuentes renovables.

Cumple de manera satisfactoria con el control de malas hierbas (Wilson, 1990). La parte no enterrada se mantiene sin degradar durante el ciclo del cultivo, a pesar de que se suele romper por los orificios de las plantas. La parte enterrada se degrada más rápido que la de los plásticos biodegradables, llegando prácticamente a desaparecer al final del ciclo (Cirujeda *et al*, 2008).

Una de las limitaciones para el uso de este material es el manejo por la maquinaria durante su colocación, ya que se rompe con facilidad. Aunque su instalación mecánica es factible, hay que adaptar la acolchadora (bajar la tensión, evitar la microperforación y disminuir la velocidad de instalación).

1.4.6.- Acolchados con restos vegetales.

El acolchado orgánico en cultivos hortícolas ecológicos es de gran interés y fácil de realizar, protege el suelo, y a veces lo enriquece, ya que los restos vegetales pasan al suelo cuando se degradan. Este hecho se debe tener en cuenta a la hora de la planificación de la fertilización.

Se puede realizar con distintos materiales, y ayuda al reciclado de subproductos de la explotación agraria. La facilidad de encontrar estos productos, y su bajo precio, ha hecho que su interés se haya incrementado.

Las cubiertas vegetales suponen una barrera física que debe ser superada por las plántulas de malezas para su brotación desde el suelo. Cuanto mayor espesor y dureza del material, mejor control se tendrá sobre la brotación. Otro efecto es el de no dejar pasar la luz, lo que impide que las plántulas lleven a cabo la fotosíntesis.

El gran inconveniente es su colocación, labor lenta y tediosa, que aumenta los costes de mano de obra. Además el viento puede arrastrar la capa de restos de cultivo. Otro inconveniente es que al introducir restos de cosecha en el cultivo, se introducen semillas de malas hierbas.

La paja de cebada es un material muy abundante y económico, aunque en ensayos realizados por Pérez Lacasa (2008), fue el material de menor éxito en el control de malas hierbas y el que menor producción se obtuvo, después del tratamiento testigo.

La paja de maíz puede ser también interesante, ya que su descomposición es lenta y podrá aguantar el tiempo necesario para garantizar un periodo de control apropiado.

2.- OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es evaluar el comportamiento de nuevos materiales de acolchado biodegradables para el control de malas hierbas en el cultivo de pimiento.

Los objetivos específicos son:

1. Valorar la capacidad de control de malas hierbas, tanto en especies anuales como perennes.
2. Valorar el efecto de los acolchados sobre el crecimiento del cultivo.
3. Valorar el efecto de los acolchados sobre la producción final y sobre las características del fruto.
4. Valorar la durabilidad de los materiales de acolchado ensayados.
5. Realizar un estudio económico comparativo de los diferentes materiales de cobertura ensayados.

3.-MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.- MATERIAL VEGETAL.

La variedad Claudio, de la casa comercial Nunhems, es un híbrido F1 de pimiento tipo Lamuyo, de forma parecida a California pero más alargado. Frutos con maduración en rojo, con un peso medio de 250 gramos, y unas medidas aproximadas de 13 cm de largo, 8 cm de ancho y la carne con un grosor medio de 5,5 mm.

Esta variedad es tolerante al virus del mosaico del tabaco (TMV), al virus del mosaico del tomate (ToMV) y al virus del moteado del pimiento (BePMV).

3.2.- CARACTERÍSTICAS DE LA PARCELA DE ENSAYO.

3.2.1.- Localización

El ensayo se realizó en la “Finca Experimental de Cadreita” del Instituto Navarro de Tecnologías e Infraestructuras Agroalimentarias (INTIA), perteneciente a la Diputación Foral de Navarra.

Se encuentra en el término municipal de Alfaro (La Rioja), a un kilómetro al sureste de Cadreita (Navarra). Sus coordenadas geográficas son:

- Latitud: 42º 12´
- Longitud: 1º 43´
- Altitud: 267 metros

La extensión de la finca es de 46 hectáreas, y está dividida en 16 parcelas (Figura 1). En la actualidad se dedica a la experimentación de cultivos hortícolas (tomate, pimiento, alcachofa, coliflor, berenjena, brócoli, romanesco, etc.), y de otros cultivos como maíz, trigo, y frutales.



Figura 1. Ortofoto de la zona, delimitando en rojo la Finca Experimental de Cadreita

En la parcela de ensayo el cultivo precedente fue maíz de ensilaje.

3.2.2.-Caracterización climáticometeorológica

La zona en la que está la finca tiene un clima mediterráneo-continental. Se producen escasas precipitaciones y una fuerte oscilación térmica anual, con inviernos fríos, y veranos calurosos y secos. Los valores climatológicos generales de la zona son los siguientes (Meteorología y Climatología de Navarra, Gobierno de Navarra, 2012):

- La temperatura media anual es de 14°C.
- La temperatura media de invierno es de 5.5°C.
- La temperatura media del verano es de 22°C.
- La precipitación anual oscila entre 300 y 500 mm.
- Los días de lluvia oscilan entre 40 y 60 días al año.
- La evapotranspiración anual se sitúa en torno a los 770 mm.
- El periodo libre de heladas va desde mediados de abril hasta finales de octubre.

La clasificación climática según el método de Papadakis (Meteorología y Climatología de Navarra, Gobierno de Navarra, 2013) asigna a la zona inviernos de tipo Av (avena cálida), y veranos de tipo O (arroz). La combinación de ambas caracterizaciones da un régimen térmico templado cálido (TE₂).

El régimen de humedad es de tipo Me (mediterráneo seco), que unido a un régimen térmico templado cálido, determina un tipo climático denominado mediterráneo templado seco (Mets).

La duración de la estación mínima libre de heladas es de 4 meses. La duración de la estación disponible libre de heladas es de 7 meses, y la duración de la estación media libre de heladas es de 7 meses.

Los datos climatológicos correspondientes al periodo de ensayo (Figuras 2, 3 y 4) se tomaron en la estación meteorológica de Cadreita, que se encuentra en la propia finca.

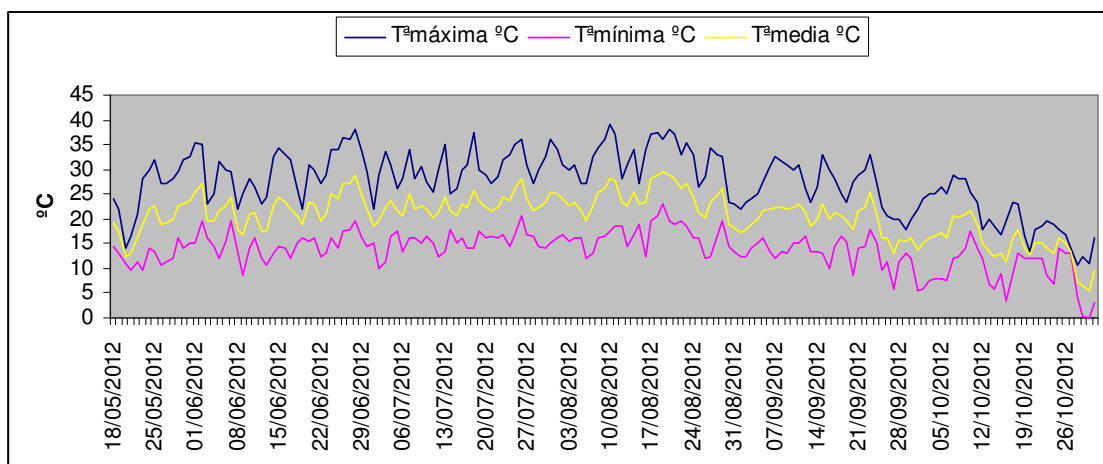


Figura 2.- Temperaturas máximas, medias y mínimas registradas en Caderita durante el ciclo de cultivo.

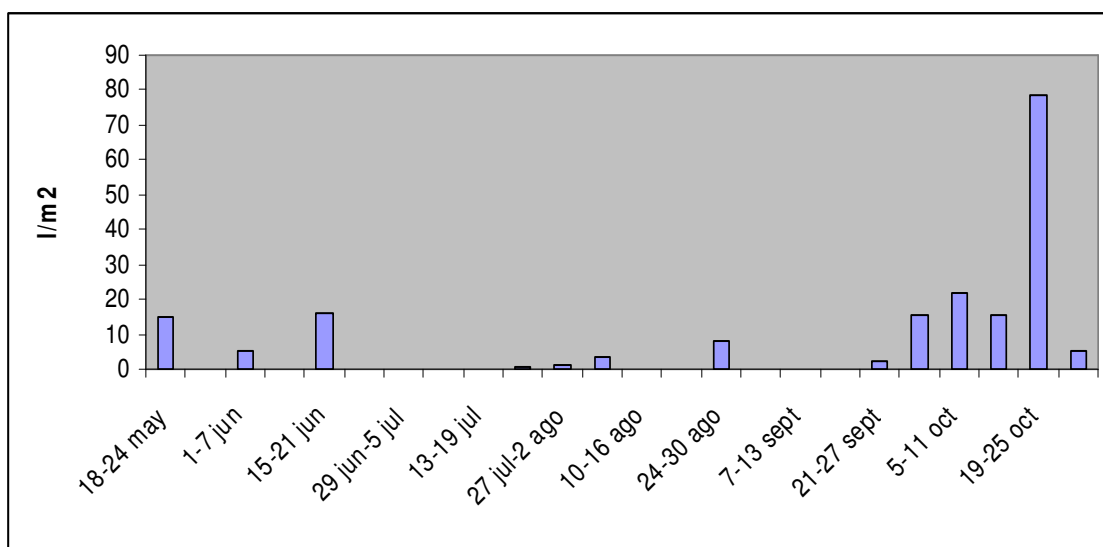


Figura 3.- Precipitaciones registradas en Caderita (acumuladas por semanas) durante el ciclo del cultivo.

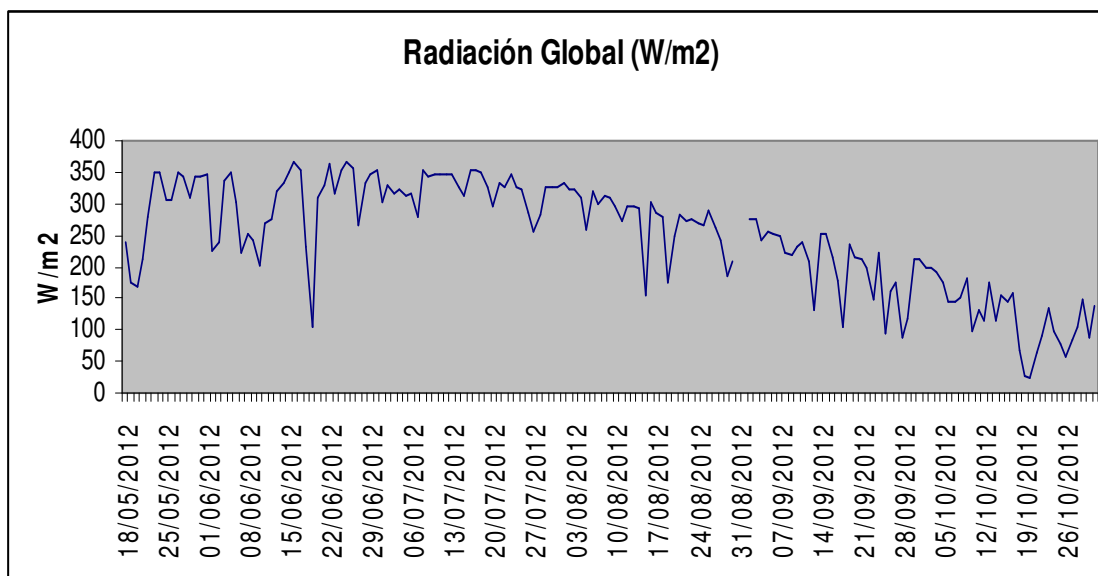


Figura 4.- Radiación solar durante el ciclo del cultivo.

Como se aprecia en la Figura 2, los meses de junio y agosto han sido más cálidos de lo habitual, con temperaturas mínimas en algún caso por encima de los 20°C. La ausencia de lluvias (Figura 3) prácticamente en todo el ciclo de cultivo, ha favorecido la ausencia de enfermedades fúngicas contribuyendo a una producción de muy buena calidad. En radiación solar (Figura 4), a pesar de las fluctuaciones diarias, se observa una clara disminución desde la máxima, registrada en la última semana de junio, con más de 350 w/m² a los valores de radiación a en el mes de octubre, inferiores a 200 w/m².

3.2.3.-Calidad del agua de riego

El agua para el riego se toma de un pozo situado en la propia finca, que es bombeada por un motor de tractor.

Los datos analíticos que se muestran a continuación corresponden a una muestra de agua de dicho pozo.

ANIONES	[meq/l]	[mg/l]
Cloruros (Cl ⁻²)	2.14	75.7
Sulfatos (SO ₄) ⁻²	2.25	108.1
Bicarbonatos (HCO ₃) ⁻	2.69	164.0
Carbonatos (CO ₃) ⁻²	0	0
TOTAL	1.08	347.8

CATIONES	[meq/l]	[mg/l]
Calcio (Ca ²⁺)	3.21	64.4
Magnesio (Mg ²⁺)	0.91	11.1
Sodio (Na ⁺)	2.52	58.0
Potasio (K ⁺)	0.07	2.6

TOTAL	6.71	136.1
OTRAS DETERMINACIONES		
Residuos secos a 110°C	402 mg/l	
pH	8.15	
CE	693 micromhos/cm	

Para la evaluación de la aptitud del agua para el riego, el U.S. Salinity Laboratory Staff, utiliza una clasificación que se basa en la conductividad eléctrica (C.E.W) de la muestra a 25°C y en la relación de absorción de sodio (R.A.S) definida por la fórmula:

$$RAS = Na^+ / \text{SQR} [(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2] \text{ (concentración expresada en meq/l)}.$$

En este caso, la C.E.W es de 693 micromhos/cm y la RAS es de 1.75meq/l. La clasificación del agua de riego de la finca, de acuerdo con el U.S. Salinity Laboratory Staff, es C₂S₁. Siendo C: el peligro de salinización del suelo y S: el riesgo de sodificación. Por tanto, el riesgo de salinización es moderado y el riesgo de sodificación es bajo.

3.3.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO.

El diseño experimental del ensayo fue de bloques al azar. Se analizaron 9 tratamientos, que incluían distintas formulaciones de plásticos biodegradables, papel, polietileno y dos testigos. Los tratamientos fueron los siguientes:

- 1.- Acolchado negro biodegradable Sphere de 15 micras. (Formulación 1).
- 2.- Acolchado negro biodegradable Sphere de 15 micras. (Formulación 2).
- 3.- Acolchado negro biodegradable Sphere de 15 micras. (Formulación 3).
- 4.- Acolchado negro biodegradable Mater-bi de 15 micras.
- 5.- Acolchado con polietileno negro de 15 micras: como testigo del sistema convencional.
- 6.- Acolchado de papel negro Mimcord.
- 7.- Acolchado de papel gris Verso.
- 8.- Testigo sin desherbar: como indicador de las pérdidas en rendimiento debidas a malas hierbas.
- 9.- Testigo desherbado manualmente: como indicador de las pérdidas en rendimiento debidas al desuso del acolchado.

En la Tabla 4 se detallan las características de los materiales utilizados en el ensayo tales como el tipo de material, el color, el espesor y la anchura.

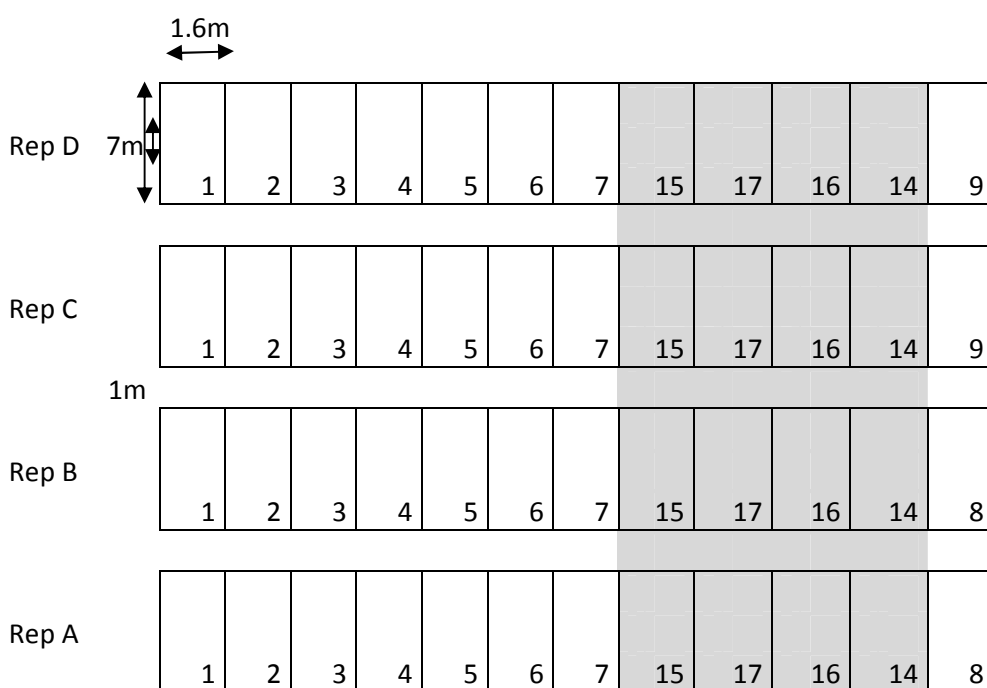
Tabla 4.- Características técnicas de los materiales utilizados en el ensayo de acolchados.

Tipo de material	Nombre/Código	Empresa	Color	Espesor o densidad	Anchura
Plástico	SP-1	Sphere	Negro	15 μ	1,20 m
Plástico	SP-2	Sphere	Negro	15 μ	1,20 m
Plástico	SP-3	Sphere	Negro	15 μ	1,20 m
Plástico	Mater-Bi	Novamont	Negro	15 μ	1,20 m
Plástico	PE		Negro	15 μ	1,20 m
Papel	Mimcord	Mimgreen	Negro	85 g/m ²	1,20 m
Papel	Verso	VersoPaperCrop.	Gris oscuro	60 g/m ²	1,20 m

En la Figura 5 se detalla el croquis del ensayo. Como se puede observar, en los tratamientos del 1 al 7 se hicieron 4 repeticiones (bloques A, B, C y D). Los tratamientos 8 y 9 tenían sólo 2 repeticiones: bloques A y B para el tratamiento 8, y bloques C y D para el 9.

Las dimensiones de la parcela elemental fueron de 7 metros de longitud por 1.60 metros de ancho, lo que da una superficie de 11.20 m². La plantación se realizó el 25 de mayo de 2012 en mesas separadas 1.60 metros entre sí, con 20 plantas por fila y dos filas por mesa, lo cual da un total de 40 plantas por tratamiento y repetición. La separación entre plantas dentro de la fila fue de 0.35 metros, proporcionando una densidad de plantación de 3.57 plantas/m² (35.700 plantas/ha).

Entre cada bloque o repetición se dejó 1 metro de separación, a fin de poder realizar controles sobre el material utilizado para el acolchado sin cultivo.



PASILLO CENTRAL

Figura 5. Croquis del ensayo. Los tratamientos 14-17 no han sido utilizados en este trabajo.

El sistema de riego fue por goteo. La cinta de goteo disponía de emisores cada 0,2 m y un caudal unitario de 1 l/h a 0,55 bares. Se colocó junto con los acolchados con la acolchadora de plástico. Todos los tratamientos se regaron de igual forma, excepto los testigos sin acolchar (tratamientos 8 y 9) que recibieron mayor dosis. El riego se controlaba mediante un programador.

3.4.- PARÁMETROS A DETERMINAR

Para realizar el estudio se han analizado una serie de parámetros que se detallan a continuación.

3.4.1.- Temperatura del suelo

En las repeticiones B y C de cada tratamiento se colocaron sensores de temperatura a una profundidad de 5 cm, para poder observar el efecto de los distintos materiales utilizados sobre la temperatura en la parte superficial del suelo.

El sensor se colocó en la línea del cultivo, entre 2 plantas y a 10 cm de la cinta de goteo. Se taparon con tierra tamizada por una criba de 2mm para garantizar que todos estuvieran tapados con el mismo tipo de tierra y no hubiera bolsas de aire.

Los sensores se colocaron en campo desde la plantación hasta cosecha y se programaron para registrar la temperatura cada 10 minutos. Entre el 9 y el 24 de agosto no hubo lecturas debido a problemas con las sondas.

3.4.2.- Desarrollo vegetativo de la planta de pimiento

Con el fin de observar si había diferencias entre los tratamientos y si estos tenían repercusión en el desarrollo vegetativo, se realizó la medida de altura y anchura de 5 plantas escogidas al azar por tratamiento y repetición. Esta medida se realizó a los 19, 27, 33, 42, 49, 56 y 87 días después del trasplante (DDT).

También se realizaron controles de biomasa seca a los 63 y 98 DDT. Para ello se cortaron 5 plantas de cada tratamiento, se separaron hojas, frutos y tallos, y se introdujeron en una estufa a 80°C hasta peso constante. El peso seco de las plantas proporciona la cantidad de materia seca que tiene la planta, y por tanto, es indicativo de su desarrollo vegetativo.

3.4.3.- Presencia de malas hierbas.

Para conocer la eficacia en el control de malas hierbas de cada tratamiento, se realizaron observaciones visuales a los 21, 42 y 63 DDT, contando y separando las malas hierbas por especies. Este seguimiento se realizó en cuatro zonas fijas de cada tratamiento (una por repetición), marcadas al inicio del ensayo, situadas a 10 centímetros de las plantas de pimiento, y cuyas dimensiones fueron 20x100 centímetros. Así el número total de malas hierbas por metro cuadrado se obtuvo sumando las obtenidas en los cuatro rectángulos y dividiendo este resultado entre 0,8. No se evaluaron las malas hierbas aparecidas entre las calles, ni las que salían a través del agujero de la planta de pimiento.

Finalmente, a los 63 DDT se realizó un control de biomasa seca de cada especie de mala hierba aparecida. Para ello se cortaron las plantas y se secaron en estufa a 80°C hasta peso constante.

3.4.4.- Degradación de los acolchados.

Para describir la degradación en campo de los materiales utilizados para el acolchado se usó la escala visual proporcionada por Novamont (Novamont, 2012), en la cual se evaluaron 4

parámetros: degradación zona externa, degradación parte enterrada, presencia de lesiones y resistencia a los tirones.

- Degradación zona externa: valoración mediante escala numérica de 1 a 9. El valor 1 se refiere a terreno totalmente descubierto, mientras el 9 se refiere a material de acolchado intacto, nuevo. En la Figura 6 se muestra una referencia visual de tal escala.
- Degradación zona enterrada: valoración mediante escala numérica de 1 a 9. El valor 1 se refiere a film desaparecido, mientras el 9 se refiere a material de acolchado intacto, ausente de lesiones debidas a la degradación.
- Lesiones: se valora la presencia de lesiones en la zona externa del film durante el ciclo de cultivo. Por lesiones se entiende: roturas, agujeros, grietas, etc. que pueden aparecer en el acolchado disminuyendo su rendimiento. También se valora mediante escala numérica de 1 a 9, donde el valor 1 se refiere a material totalmente dañado y 9 se refiere a material intacto, sin lesiones.
- Resistencia a los tirones: se estima presionando la parte externa con la mano y valorando la resistencia a la rotura. Valoración mediante escala numérica de 1 a 9. El valor 1 se refiere a un material de acolchado muy frágil, mientras que el 9 se refiere a un material resistente, como nuevo.

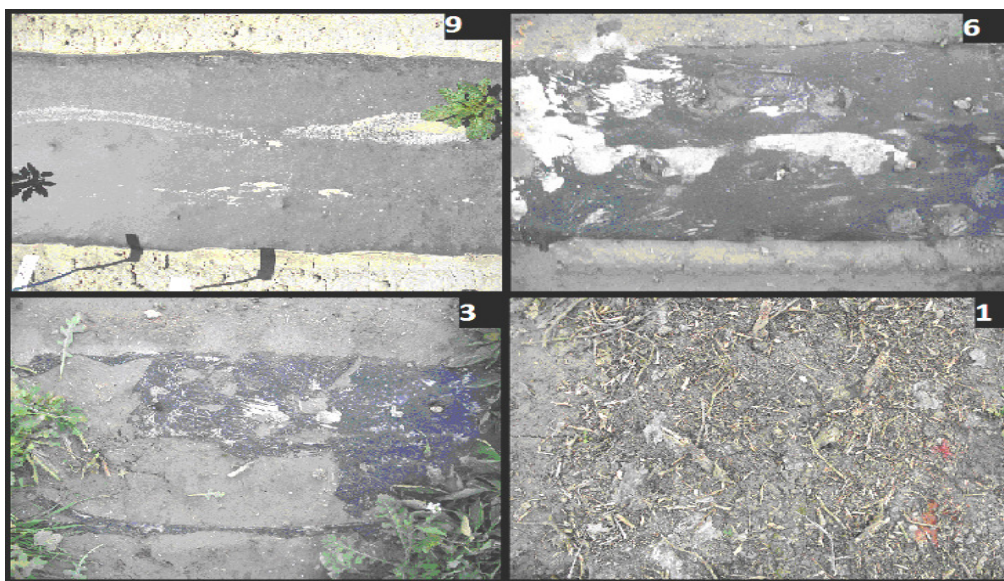


Figura 6.- Referencia visual de los valores 9, 6, 3 y 1 de la escala de degradación de Novamont.

Para acompañar a esta valoración se tomaron fotografías de cada uno de los films en la parte con cultivo, en la parte sin cultivo y en la zona enterrada.

La valoración visual de la degradación se realizó a los 14, 31, 46,83, 118 DDT. Tras la última recolección se realizaron otras dos evaluaciones de los materiales los días 6 de noviembre y 13 de diciembre (165 y 202 DDT).

3.4.5.- Producción

La producción es el parámetro más determinante sobre el que se asientan los objetivos de nuestro trabajo. La recolección se realizó en tres pases, el día 11 de septiembre, el 3 de octubre y el 25 de octubre (109, 131 y 153 DDT respectivamente). La cosecha se separó en producción comercial, destriodestrío, soleado, lacio y podrido. Además se calculó el peso medio de fruto, dividiendo la producción total entre el número de frutos.

La producción de cada tratamiento se obtuvo de la suma total de la producción comercial. Como indicador de la precocidad de cada tratamiento se consideró el porcentaje de cosecha comercial recogido el 11 de septiembre (primera cosecha).

Durante la recolección, se realizó un conteo de plantas buenas, raquíticas y faltas, a fin de conocer el porcentaje de plantas con desarrollo óptimo.

3.4.6.- Características del fruto

Tras la primera recolección, se tomaron 15 frutos de cada tratamiento y se analizó su peso, longitud, peso del corazón, anchura y grosor de la carne. Con el peso total y el peso de corazón se calculó el porcentaje de rendimiento en carne, dato importante para la industria agroalimentaria.

3.5.- MANEJO DEL CULTIVO

El ensayo se llevó a cabo en la primavera-verano del año 2012. En primer lugar se realizó un aporte de estiércol el día 6 de marzo. Posteriormente, el día 28 de marzo se dio un pase de subsolador para romper la suela de labor e incorporar el estiércol. El día 17 de mayo se dio una labor con el rotavator para dejar la tierra fina.

El día 18 de mayo se formaron las calles, se colocaron las gomas del goteo y se acolcharon las calles. Los acolchados se colocaron con máquina acolchadora de la casa Tubert, modelo 1.30, con anchura de trabajo de 1,20 metros. Se encontraron dificultades en el establecimiento de los acolchados de papel, siendo necesario un ajuste de la máquina y la reducción de la velocidad del tractor y de la tensión de la bobina.

También el día 18 de mayo se aplicó oxifluorfen a la dosis de 1 L/ha como herbicida en los pasillos.

La siembra se llevó a cabo el día 8 de marzo, se realizó de forma manual, a una semilla por alveolo en semillero de 3x3 cm. La plantación tuvo lugar el día 25 de mayo, de forma manual. Después de plantar se dio un riego abundante para favorecer el arraigo del cultivo.

El día 12 de junio se trató la parcela con clorpirifos clorpirifoos 5% con el fin de controlar una plaga de *Agrotis spp*, cuyas larvas muerden la base del tallo, y finalmente la planta se parte a la altura de la herida. Los gránulos de insecticida se aportaron en la base del tallo.

El 3 de julio se procedió a la primera escarda manual del tratamiento 9, y a partir de entonces se repitió esta operación con el fin de mantener la parcela libre de malas hierbas.

El 5 y el 12 de julio se realizaron dos tratamientos insecticidas para el control de *Helicoverpa armigera* y de otras larvas de lepidópteros. Este tratamiento se repitió el 16 de agosto.

El resto de controles realizados sobre el cultivo se detallan en la Tabla 5, marcados en color para diferenciarlos de las labores de manejo del cultivo.

Tabla 5.- Tareas realizadas en el ensayo (DDT = días después de trasplante)

TAREA	FECHA	DDT
Siembra en semillero	08/03/2012	-
Aporte de estiércol	06/03/2012	-
Pase de subsolador	28/03/2012	-
Pase de rotavator	17/05/2012	-
Formación de mesas	18/05/2012	-
Acolchado	18/05/2012	-
Trasplante	25/05/2012	-
1ª Evaluación de materiales	08/06/2012	14 DDT
Tratamiento insecticida	12/06/2012	18 DDT
1ª Medición altura y anchura	13/06/2012	19 DDT
1º Conteo malas hierbas	15/06/2012	21 DDT
2ª Medición altura y anchura	21/06/2012	27 DDT
2ª Evaluación de materiales	25/06/2012	31 DDT
3ª Medición altura y anchura	27/06/2012	33 DDT
Desherbado manual	03/07/2012	39 DDT
4ª Medición altura y anchura	04/07/2012	40 DDT
Tratamiento insecticida	05/07/2012	41 DDT
2º Conteo malas hierbas	06/07/2012	42 DDT
3ª Evaluación de materiales	10/07/2012	46 DDT
5ª Medición altura y anchura	11/07/2012	47 DDT
Tratamiento insecticida	12/07/2012	48 DDT
6ª Medición altura y anchura	18/07/2012	54 DDT
1º Control de biomasa	26/07/2012	62 DDT
Desherbado manual	26/07/2012	62 DDT
3º Conteo malas hierbas	26/07/2012	62 DDT
Biomasa malas hierbas	26/07/2012	62 DDT
7ª Medición altura y anchura	16/08/2012	83 DDT
Tratamiento insecticida	16/08/2012	83 DDT
4ª Evaluación de materiales	16/08/2012	83 DDT
2º Control de biomasa	30/08/2012	97 DDT
1ª Recolección	11/09/2012	109 DDT
Características del fruto	12/09/2012	110 DDT
2ª Recolección	03/10/2012	131 DDT
3ª Recolección	25/10/2012	153 DDT
5ª Evaluación de materiales	13/12/2012	202 DDT

3.6.- TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LOS DATOS

Para realizar el tratamiento estadístico de los datos se utilizó el programa SPSS. Con él se realizó el análisis de varianza ANOVA, que sirve para saber si hay diferencias significativas entre los diferentes tratamientos. Para la separación de medias se utilizó el test de Tukey, con un nivel de significación de 0,05.

4.-RESULTADOS

4.1.- EVOLUCIÓN DE LA TEMPERATURA DEL SUELO

Con el fin de conocer el efecto sobre la temperatura del suelo de los distintos materiales, se tomaron medidas cada 10 minutos a una profundidad de 5 cm. Para representarlo gráficamente se agruparon por semanas y se hizo la media semanal. En las Figuras 6, 7 y 8 se reflejan las temperaturas medias, máximas y mínimas registradas bajo los acolchados estudiados desde el 25 de mayo del 2012 (fecha de plantación) hasta el 2 de octubre del 2012 (día antes de la 2ª recolección).

En la Figura 7 se observa como es el PE el acolchado con mayor temperatura media durante el cultivo (24,4°C), alcanzando la semana del 22 al 28 de junio de 2012 una temperatura media de 30,2°C. Los siguientes materiales con mayor temperatura media han sido Mater-Bi (23,7°C), SP-2 (23,5°C), SP-3 (23,3°C) y SP-1 (23,1°C), es decir, los plásticos biodegradables. Después se encuentran los papeles Verso (22,1°C) y Mimcord (22,0°C), y finalmente el testigo sin acolchar (20,7°C). Las mayores diferencias se dan durante las primeras semanas de cultivo, hasta mediados de julio, cuando el desarrollo vegetativo del cultivo impide que la radiación solar incida directamente sobre el acolchado. A partir de entonces, la diferencia entre los distintos acolchados disminuye hasta hacerse nula las últimas semanas de cultivo.

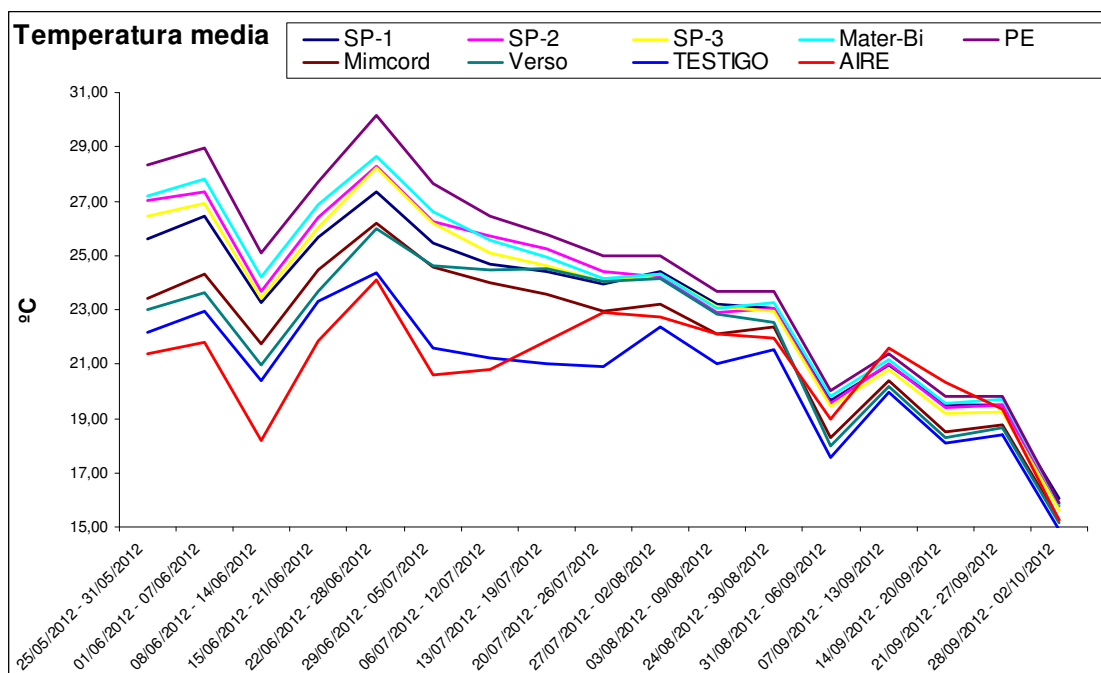


Figura 7.- Temperaturas medias registradas bajo los distintos acolchados y temperatura media del aire.

En cuanto a las temperaturas máximas, en la Figura 8 se ve como el PE es el material que alcanza una mayor temperatura (42,5°C la semana del 1 al 7 de junio de 2012), con una media de máximas de 31,0°C. Los siguientes materiales con mayor media de máximas son Mater-Bi con 30,3°C y SP-2 con 30,1°C. En esta figura se observa bien como, por efecto del desarrollo del cultivo, a partir de la segunda mitad de julio la temperatura máxima bajo los acolchados disminuye considerablemente y la registrada en el aire los supera.

La Figura 9 muestra las temperaturas mínimas alcanzadas bajo los acolchados. En ella vemos como el acolchado SP-1 es el que menos ha bajado de temperatura con una media de las mínimas de 18,9°C. A continuación está el PE (18,6°C) y Mater-Bi (18,1°C). Es en esta figura donde mayores diferencias se ven entre los tratamientos y el testigo (suelo desnudo), lo que muestra el efecto amortiguador de los acolchados sobre la bajada de temperaturas del suelo.

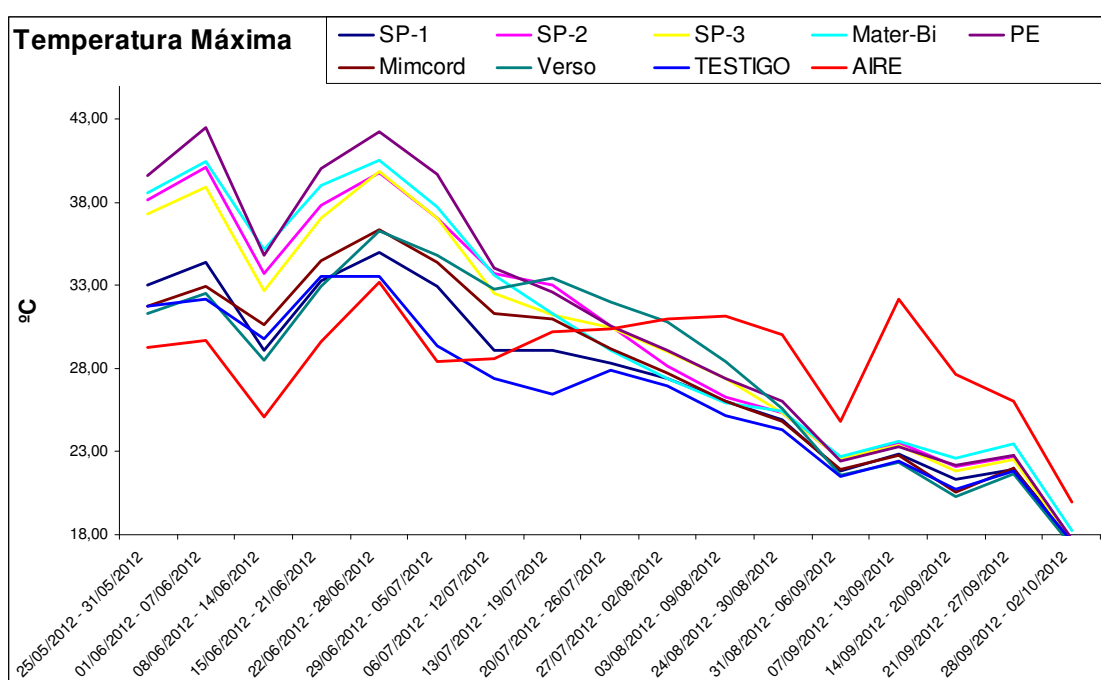


Figura 8.- Temperaturas máximas registradas bajo los acolchados de pimiento y temperatura máxima del aire.

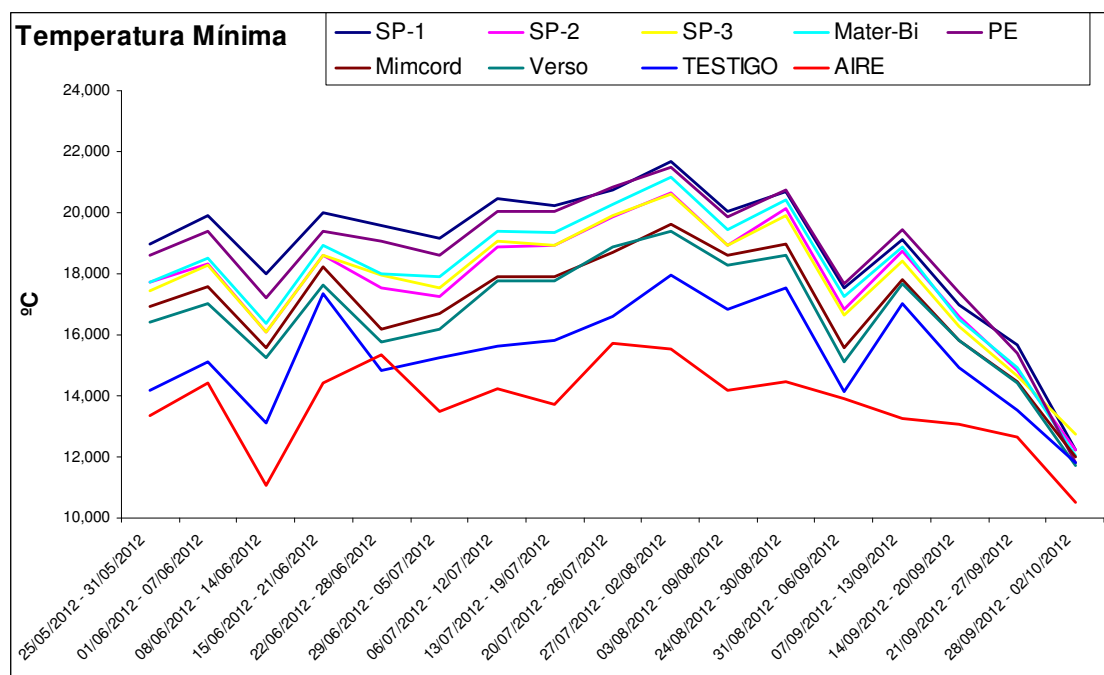


Figura 9.-Temperaturas mínimas registradas bajo los acolchados de pimiento y temperatura mínima del aire

En resumen, los acolchados presentaron una temperatura media mayor a la del aire hasta que el cultivo impidió la radiación solar directa sobre el acolchado. El PE fue el acolchado que mayor temperatura media y máxima alcanzó, seguido por los plásticos biodegradables y finalmente los papeles. Las diferencias entre los tratamientos y respecto al testigo fueron mayores al inicio del cultivo, y a partir del mes de agosto se igualaron.

4.2.- EVOLUCIÓN DEL CRECIMIENTO DEL CULTIVO.

Para conocer el efecto de los materiales de acolchado sobre el desarrollo vegetativo del cultivo, se tomaron medidas de altura de 5 plantas de cada tratamiento. En todas las fechas se midieron las mismas plantas. En la Figura 10 se muestra la evolución de la altura de dichas plantas a lo largo del ciclo del cultivo.

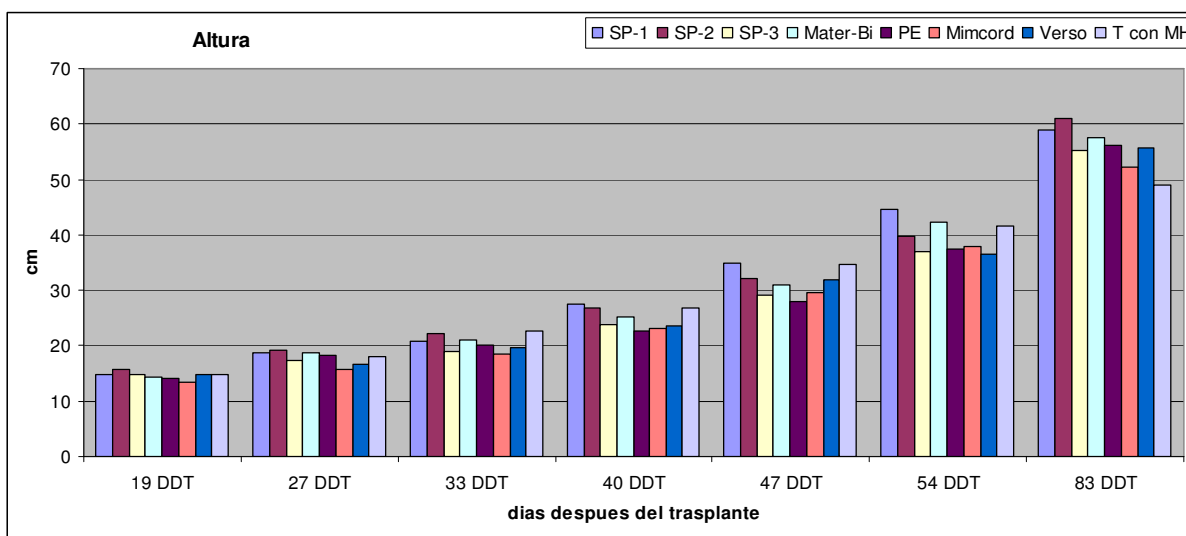


Figura 10.-- Evolución de la altura de las plantas de pimiento a lo largo del ciclo de cultivo (cm).

En la Figura 10 se observa como la evolución de las plantas durante las primeras tres semanas fue muy parecida. En este tiempo las plantas están arraigando y desarrollando mayoritariamente su sistema radicular, por lo que no se aprecian grandes diferencias en altura. Posteriormente sí que se observó un crecimiento más activo de la parte aérea, en todos los tratamientos, siendo el del acolchado de PE el que menos desarrollaba en altura. En un principio, las plantas de pimiento del tratamiento con malas hierbas crecieron en altura igual que en el resto de tratamientos, hasta 54 DDT, pero de ahí en adelante las malas hierbas se apoderaron del cultivo y finalmente no llegaban a apreciarse entre la maleza.

El resultado del análisis estadístico de la altura medida a los 19, 27, 33, 40, 47 54 y 83 días después del trasplante (DDT) se recoge en la Tabla 6.

Tabla 6.- Separación de medias de la altura de las plantas de pimiento (cm) en distintas fechas a lo largo del ciclo de cultivo. DDT: días después del trasplante.

Tratamiento	19 DDT	27 DDT	33 DDT	40 DDT	47 DDT	54 DDT	83 DDT
SP-1	14,9 a	18,6 a	20,8 abc	27,4 a	34,8 a	44,6 a	59,0 ab
SP-2	15,6 a	19,2 a	22,2 ab	26,8 ab	32,0 ab	39,8 bcd	61,0 a
SP-3	14,8 a	17,4 a	19,0 bc	23,8 ab	29,2 ab	37,0 d	55,2 ab
Mater-Bi	14,4 a	18,6 a	21,0 abc	25,2 ab	31,0 ab	42,2 ab	57,6 ab
PE	14,2 a	18,2 a	20,0 abc	22,6 b	28,0 b	37,4 d	56,2 ab
Mimcord	13,3 a	15,8 a	18,4 c	23,2 ab	29,6 ab	37,8 cd	52,2 ab
Verso	14,8 a	16,6 a	19,6 abc	23,6 ab	31,8 ab	36,4 d	55,6 ab
T con MH	14,9 a	18,0 a	22,6 a	26,8 ab	34,6 a	41,6 abc	49,0 b

Tratamientos con la misma letra en la misma columna no difieren con $P < 0,05$

En la Tabla 6 se observa como los tratamientos no difieren entre sí hasta los 33 DDT, donde la altura de las plantas en el tratamiento con malas hierbas es significativamente mayor que en los acolchados SP-3 y Mimcord. A medida que pasan las semanas, la competencia de las malas hierbas se hace notar y el tratamiento sin desherbar acaba siendo el de menor altura de planta a los 83 DDT, siendo la diferencia respecto al acolchado SP-2 significativa. La altura de plantas del resto de acolchados no difiere significativamente a los 83 DDT. El tratamiento testigo sin malas hierbas no aparece puesto que se comenzó a desherbar a los 39 días después del trasplante.

4.3.- EVOLUCIÓN DE LA BIOMASA DE LAS PLANTAS DE PIMIENTO

A los 62 y 97 DDT se realizaron controles de biomasa. Este control nos da una idea del desarrollo vegetativo de las plantas en cada tratamiento. Para ello se cortaron 5 plantas de cada tratamiento y se separaron en hojas, tallos y frutos. Posteriormente se introdujeron en una estufa a 80°C hasta que su peso se mantuvo constante.

Para su análisis, se agrupó la biomasa seca en tallos y hojas, frutos y total.

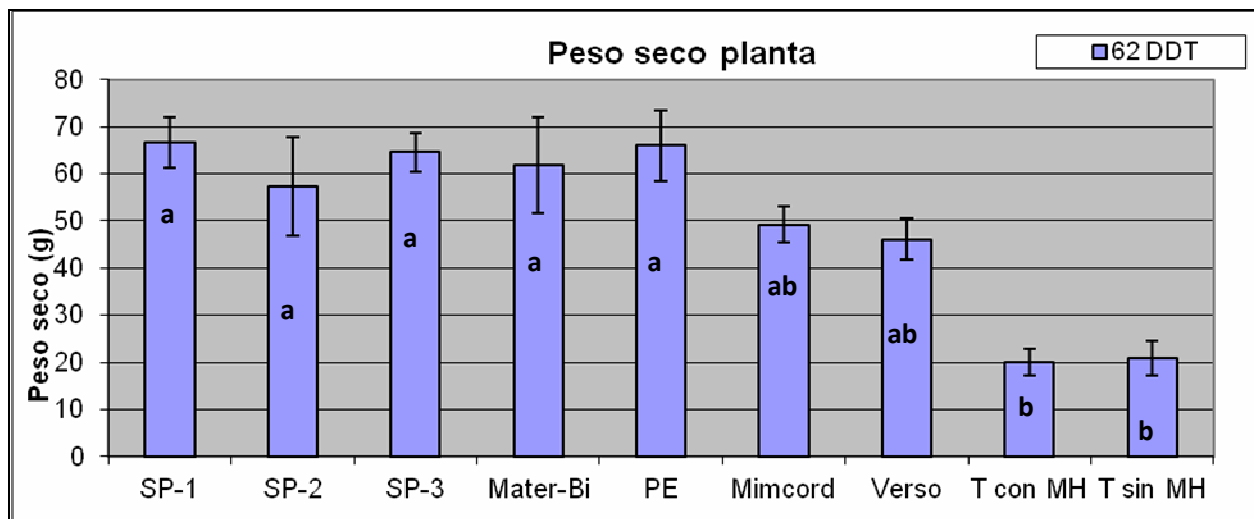


Figura 11- Peso seco (g) de las plantas de pimiento a los 62 días después de trasplante.

En cuanto a la planta entera, a los 62 DDT, los tratamientos que más biomasa han generado han sido los acolchados plásticos (SP, Mater-Bi y PE), habiendo diferencia significativa entre estos y los testigos sin acolchar (Figura 11). Los acolchados de papel han generado menor biomasa que los acolchados plásticos y más que los testigos, pero sin existir diferencias significativas entre ellos. Esta ausencia de diferencias se debe a que el tratamiento sin malas hierbas comenzó a desherbarse 23 días antes de este muestreo, y durante este tiempo las malas hierbas todavía no compiten ferozmente con el cultivo. En el siguiente muestreo sí que se apreciaron diferencias entre testigo con malas hierbas y sin malas hierbas (Figura 14).

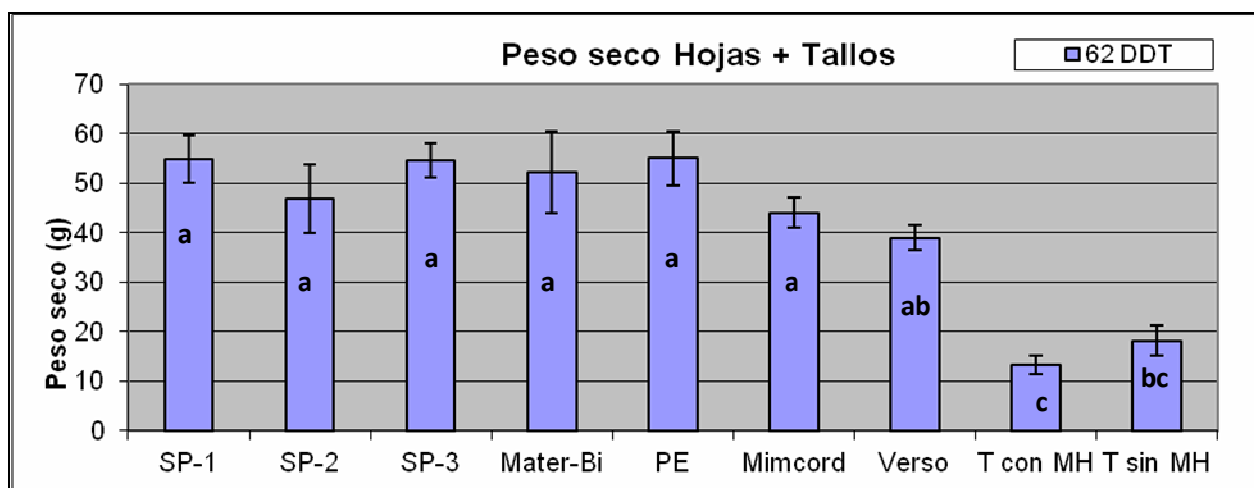


Figura 12.- Peso seco (g) de hojas y tallos a los 62 días después de trasplante.

En el caso de la parte vegetativa (hojas y tallos), a los 62 DDT, los acolchados plásticos y el papel Mimcord han producido una biomasa significativamente mayor a los testigos sin acolchar (Figura 12). El desarrollo vegetativo de las plantas del papel Verso no ha sido significativamente mayor que el testigo desherbado, pero si respecto al testigo sin desherbar.

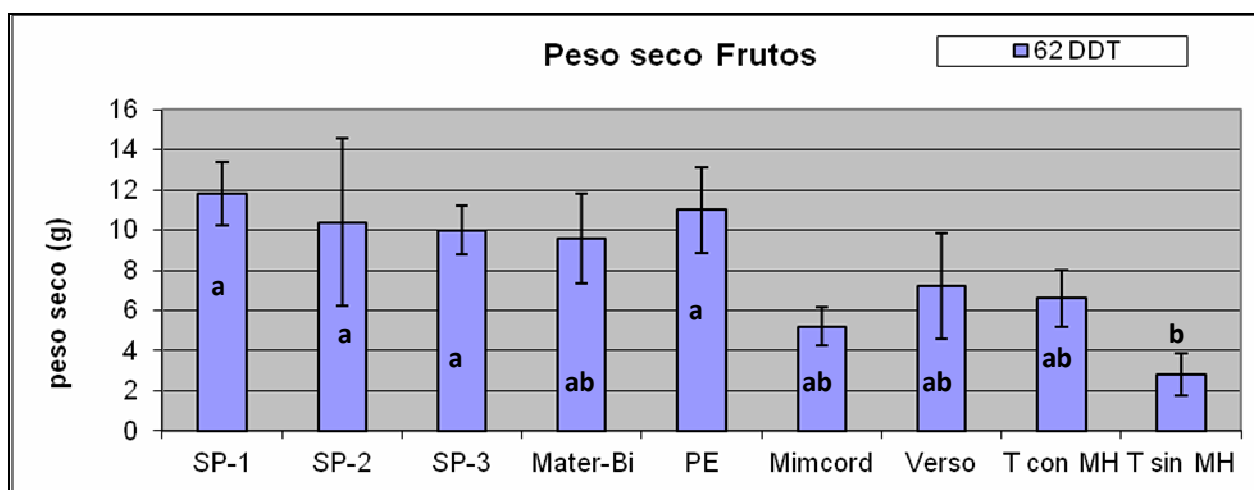


Figura 13.- Peso seco (g) de los frutos a los 62 días después de trasplante.

En el caso del peso seco de frutos, a los 62 DDT, el acolchado SP-1 y el PE fueron los de mayor peso de frutos, seguidos de SP-2 y SP-3 (Figura 13). Existen diferencias significativas entre estos cuatro tratamientos y el tratamiento sin malas hierbas. Esto es debido a que las plantas de los acolchados eran algo más precoces que las de los tratamientos sin acolchar, por lo que los frutos de las plantas con acolchado eran más grandes que los de las plantas sin acolchado. Destacar la elevada variabilidad de la muestra de frutos del tratamiento SP-2, debido a la presencia de una planta raquílica en ella, cuyo peso seco de frutos tan solo fue de un gramo.

A continuación, en las Figuras 14, 15 y 16 se muestran los resultados del control de biomasa realizado a los 97 días después del trasplante. En ellas se ve como el tratamiento sin malas hierbas comienza a diferenciarse del tratamiento con malas hierbas.

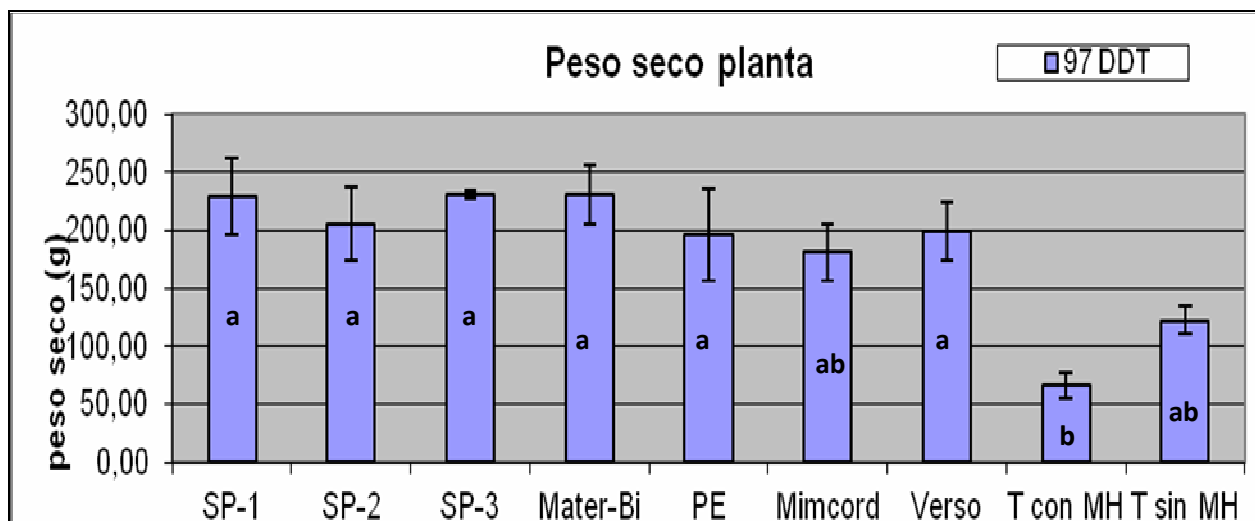


Figura 14.- Peso seco (g) de las plantas de pimiento a los 97 días después de trasplante.

A los 97 DDT, los acolchados plásticos siguieron siendo los que más biomasa total generaron, siendo significativamente mayores a la que se generó en el testigo sin desherbar. El papel Verso también mostró diferencias significativas respecto al testigo sin desherbar. El testigo desherbado y el papel Mimcord no fueron significativamente diferentes al resto de los tratamientos. Cabe reseñar que, aunque la diferencia no es significativa, el acolchado de PE es el que menos biomasa produjo de entre los acolchados plásticos.

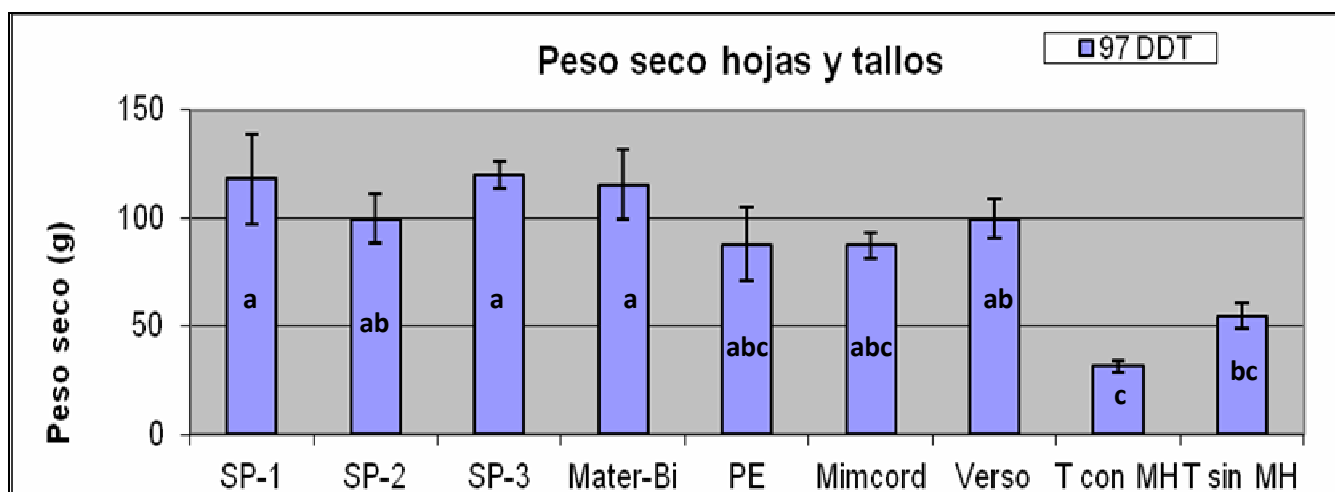


Figura 15.- Peso seco (g) de hojas y tallos a los 97 días después de trasplante.

Respecto a la parte vegetativa (tallos y hojas) a los 97 DDT, los acolchados SP-1, SP-3 y Mater-Bi son los que más biomasa han producido, siendo la diferencia significativa respecto a los testigos sin acolchar. El testigo sin desherbar es el que menos vegetación ha producido, siendo la diferencia significativa en comparación a los acolchados plásticos, excepto con el PE. El papel Mimcord se ha comportado de manera similar al PE, y entre ellos y el resto de tratamientos no hay diferencias significativas.

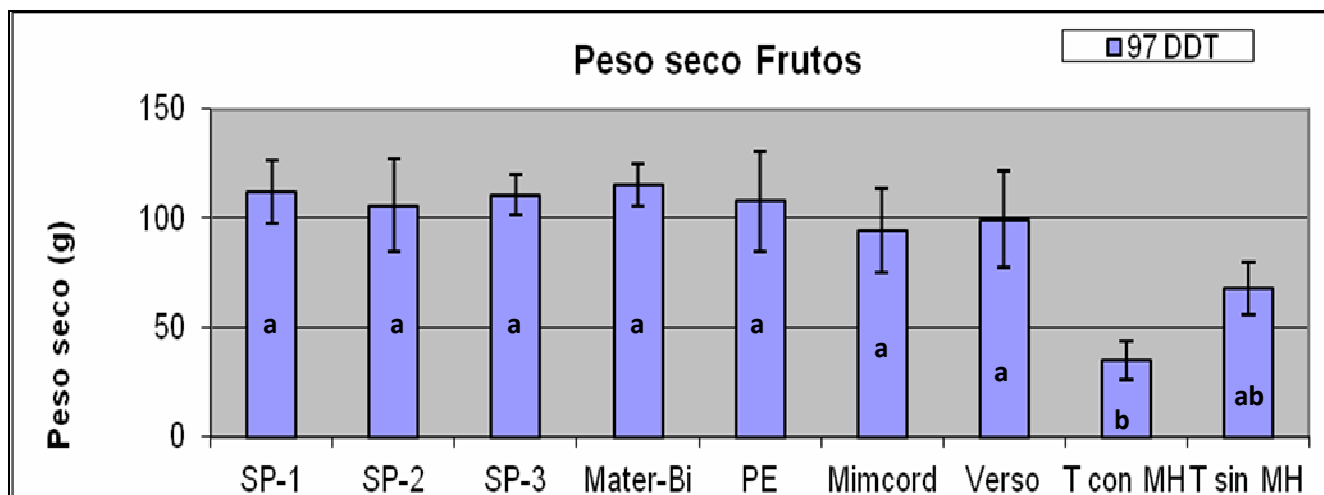


Figura 16.- Peso seco (g) de los frutos a los 97 días después de trasplante.

En cuanto al peso seco de los frutos a los 97 DDT, entre los tratamientos acolchados no existieron diferencias significativas, y sí que las hubo entre estos y el tratamiento con malas hierbas. Por tanto, a los 97 días después del trasplante, el tratamiento con malas hierbas ha sido el de menor producción de biomasa tanto en planta entera, como en la parte vegetativa y en los frutos. Esto coincide con lo expuesto por Ibarra (2000) en su trabajo sobre la influencia del acolchado en el cultivo de pimiento en Méjico, según el cual, la biomasa del acolchado con polietileno fue significativamente mayor que la producida por el testigo sin acolchar.

4.4.- CONTROL DE MALAS HIERBAS.

Para analizar la capacidad de control de malas hierbas de los distintos materiales utilizados en el acolchado, se realizaron conteos a los 21, 42 y 63 DDT de aquellas hierbas que aparecían sobre las cuatro zonas de muestreo (20x100 cm) de la mesa de cultivo y que habían roto el acolchado. No se contabilizaban aquellas que aparecían entre calles ni las que salían a través del agujero donde estaba la planta de pimiento.

Tan solo el testigo sin desherbar tuvo presencia de malas hierbas en los distintos momentos del muestreo. El número de malas hierbas por metro cuadrado contabilizadas en este tratamiento fueron respectivamente de 15, 17 y 17 a los 21, 42 y 63 DDT. En el resto de tratamientos, ninguna mala hierba logró romper el acolchado. Lo que significa que todos los acolchados han sido 100% eficaces en el control de malas hierbas. Esto coincide con lo expuesto por Pérez Lacasa (2008) en su ensayo sobre acolchados biodegradables en tomate. En este ensayo no se dio el caso, pero según Cirujeda *et al* (2012), los acolchados de papel son resistentes a *Cyperus rotundus* (juncia), mientras que los acolchados plásticos no resisten la punción que ejerce la mala hierba sobre el material. Esto es importante en parcelas infestadas por juncia, donde se recomienda su uso.

Destacar la presencia de malas hierbas en los agujeros de las plantas de pimiento, y en los tratamientos de papel, fuera de la zona de muestreo, debido a roturas transversales en el papel que dejaban zonas de la mesa de cultivo al descubierto. En la Figura 17 se muestra el acolchado de papel Mimcord con una rotura transversal. Este tipo de roturas aparecieron a los 10 días después de trasplante. En la Figura 18 se aprecia una planta de *Portulaca oleracea* que ha salido a través de uno de los agujeros hechos durante la plantación de pimiento.



Figura 17.- Rotura transversal en papel Mimcord.



Figura 18.- Mala hierba en agujero de acolchado

En la Figura 19 se muestra el aspecto general que mostraba el testigo sin desherbar a los 61 días después de trasplante. Las malas hierbas se habían apoderado del cultivo de tal forma, que en la foto apenas se distinguen las plantas de pimiento. En la Figura 20 se muestra en detalle las plantas de pimiento, junto a malas hierbas de *Portulaca oleracea*, a los 84 días después de trasplante.



Figura 19.- Aspecto general del testigo sin desherbar a los 61 días después de trasplante (derecha de la foto) en comparación con una parcela elemental acolchada (izquierda).



Figura 20.- Detalle del testigo sin desherbar a los 84 días después de trasplante.

El conteo de malas hierbas se realizó separando las plantas por especies. Así pues, las especies de malas hierbas que invadieron el cultivo fueron *Portulaca oleracea*, *Abutilon theophrasti*, *Polygonum aviculare*, *Echinocloa cruz-galli* y *Lamium amplexicaule*. En la Figura 21 se muestran algunas de las malas hierbas presentes en el testigo sin desherbar. La especie más abundante fue *Portulaca oleracea*, seguida de *Polygonum aviculare* y *Abutilon theophrasti* (Figura 22). Para obtener el número de plantas por metro cuadrado, se sumaron las aparecidas en las cuatro zonas de muestreo, y se dividió entre 0,8. *Lamium amplexicaule* y *Echinocloa cruz-galli* aparecieron más tarde en el cultivo y su presencia fue escasa.




<i>Abutilon theophrasti</i>	<i>Echinocloa cruz-galli</i>	<i>Portulaca oleracea</i>
		

Figura 21.- Principales Malas hierbas presentes en el ensayo.

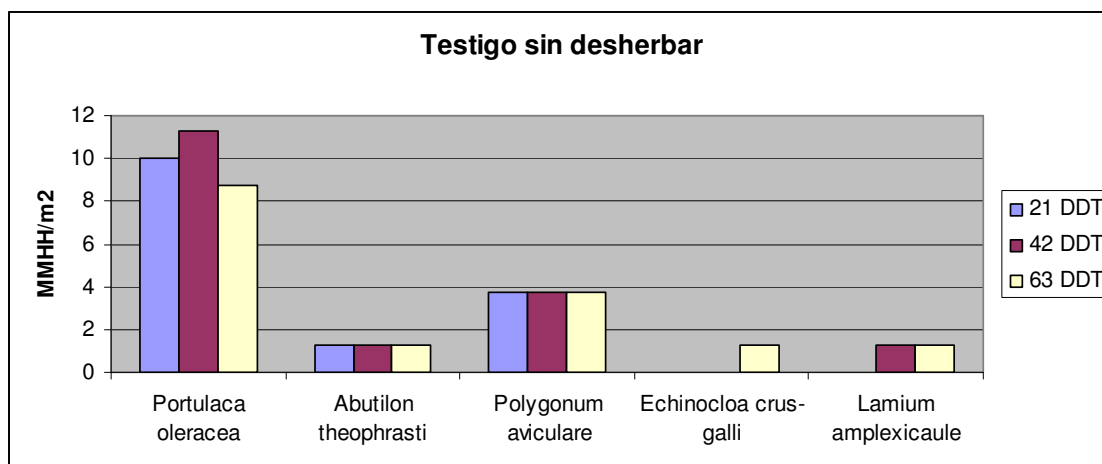


Figura 22.- Número de malas hierbas por metro cuadrado separadas por especies en el testigo sin desherbar.

En la Figura 22 se ve como *Abutilon theophrasti* y *Polygonum aviculare* aparecieron desde el principio del ensayo, y no aparecieron nuevas plantas en fechas posteriores. *Echinocloa crus-galli* apareció a mitad del ensayo, y *Lamium amplexicaule* un poco antes. Es curioso el caso de *Portulaca oleracea*, en cuyo muestreo a los 63 días después de trasplante se contabilizaron menos plantas que a los 42 días después de trasplante.

A los 63 días después de trasplante se realizó un control de biomasa seca de malas hierbas (Figura 23). Se cortaron todas las malas hierbas aparecidas en la zona marcada ($0,2 \text{ m}^2$) y se secaron en una estufa hasta que su peso fue constante. Para representar los datos en gramos por metro cuadrado, se sumaron los pesos de todas las plantas de cada especie, y se dividió por 0,8 (4 zonas de $0,2 \text{ m}^2$).

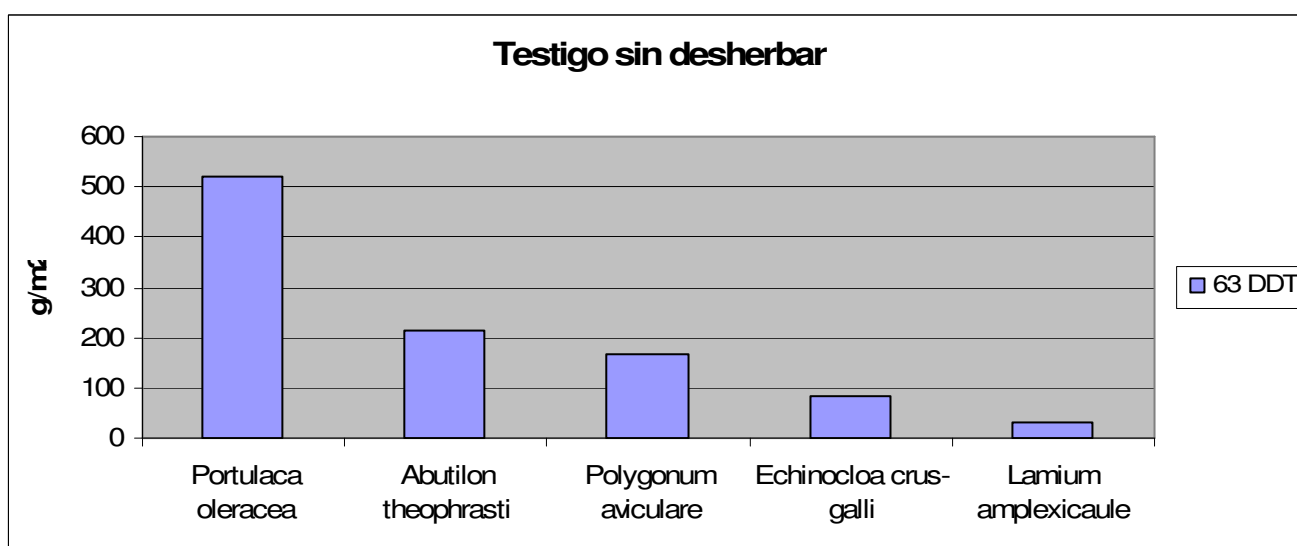


Figura 23.- Peso seco malas hierbas por metro cuadrado (g/m^2) a los 63 días después de trasplante.

Portulaca oleracea fue la especie que mayor número de plantas se contabilizaron, y la que más biomasa produjo. *Abutilon theophrasti*, a pesar de tener menor número de plantas que *Poligonum aviculare*, produjo más biomasa. Las plantas de *Abutilon theophrasti*, si se dejan crecer, pueden alcanzar el metro y medio de altura, con un grosor de tallo de hasta 5 cm de diámetro. *Echinocloa cruz-galli* y *Lamium amplexicaule* fueron las especies que menos biomasa seca produjeron debido a su baja presencia y a que su aparición fue más tardía, por lo que en el momento de hacer el control de biomasa todavía no se habían desarrollado completamente.

En resumen, todos los materiales de acolchado fueron eficaces al 100% en el control de estas cinco especies de malas hierbas. Destacar que a causa de las roturas en los papeles apareció maleza en algunas zonas de los dos tratamientos, y que, pese a que las malas hierbas no consiguieron abrirse paso a través de los acolchados, sí que lo hicieron por los agujeros hechos para las plantas de pimiento.

4.5.- VALORACIÓN DE LOS ACOLCHADOS.

La instalación mecanizada de los acolchados plásticos (SP-1, SP-2, SP-3, Mater-Bi) no requirió ningún ajuste respecto a la instalación del polietileno. Sin embargo, la instalación de los acolchados de papel (Mimcord y Verso) fue algo más lenta, debiéndose reducir la velocidad de la acolchadora y la tensión de instalación respecto a los acolchados plásticos. Estos inconvenientes se le presentan también a Cirujeda *et al* (2012) en su ensayo de alternativas al acolchado plástico con polietileno. En las Figuras 24 y 25 se aprecia como el papel Verso no queda tan tenso como el polietileno. En el papel Mimcord ocurría lo mismo que con el papel Verso (Figura 26). Durante su colocación hubo rajaduras y roturas, lo que obligó a repetir la operación.



Figura 24.- Instalación del acolchado de polietileno (a la izquierda se muestra el momento de la instalación, y a la derecha como queda colocado el acolchado).



Figura 25.- Instalación del acolchado de papel Verso (a la izquierda se muestra el momento de la instalación, y a la derecha como queda colocado el acolchado).



Figura 26.- Instalación del acolchado de papel Mimcord (a la izquierda se muestra el momento de la instalación, y a la derecha como queda colocado el acolchado).

Al día siguiente de colocar los acolchados, se produjo una precipitación de 25 l/m^2 , la cual dejó intactos los acolchados plásticos, pero que humedeció los papeles, por lo que perdieron más tensión todavía. En la Figura 27 se ve el aspecto que tenían los acolchados de papel antes (arriba) y después (abajo) de la lluvia.



Figura 27.- Aspecto de los acolchados de papel antes (arriba) y después (abajo) de la lluvia.

La valoración visual de los acolchados se realizó a los 14, 31, 46, 83, 118, 165 días después de trasplante, analizándose la degradación del acolchado tanto en la zona externa como en la enterrada, la presencia de lesiones y la resistencia a los tirones. Tras la última recolección se realizó otra evaluación de los materiales el día 13 de diciembre (202 DDT).

4.5.1.-Degradación zona externa.

La valoración visual de la degradación se basó en una escala proporcionada por la empresa Novamont, en la cual 9 representa un plástico intacto, y 1 representa un material totalmente degradado. En la Tabla 7 se visualiza la degradación de la zona externa de los materiales de acolchado durante todo el ciclo de cultivo y tras la recolección.

Tabla 7.- Degradación de la zona externa de los materiales de acolchado durante todo el ciclo de cultivo y tras la recolección.

Tratamiento	14 DDT	31 DDT	46 DDT	84 DDT	118 DDT	165 DDT	202 DDT
SP-1	8,75 a	8,25 ab	8,25 abc	8,25 ab	7,75 ab	6,75 a	2 bc
SP-2	9 a	8,5 ab	8,5 abc	7,25 b	6,5 bc	3,5 b	2,25 b
SP-3	9 a	8 b	7,75 bc	7,5 b	6,5 bc	2,75 b	1,75 bc
Mater-Bi	9 a	9 a	8,75 ab	7 b	6,5 bc	3,25 b	2,75 b
PE	9 a	9 a	9 a	8,75 a	8,75 a	7 a	7 a
Mimcord	9 a	8 b	8 abc	7,75 ab	6 c	2,5 bc	1 c
Verso	9 a	7,75 b	7,5 c	7,25 b	5,75 c	1,25 c	1 c

Tratamientos con la misma letra en la misma columna no difieren con $P < 0,05$

El PE ha sido el material más utilizado en horticultura como acolchado. En la Tabla 4 se ve como es el material más duradero. Comenzó a dar signos de degradación externa a los 165 días después de trasplante, siendo esta degradación muy leve. A los 202 días después de trasplante, cuando del resto de acolchados tan solo quedaba algún resto, el PE se mantenía prácticamente intacto. Como ya se ha comentado en la introducción, esta persistencia en campo supone un problema tanto económico (su retirada es muy costosa) como medioambiental (puede tardar en degradarse 200 años) (Cirujeda *et al*, 2012).

Mater-Bi es el acolchado biodegradable más utilizado. En este ensayo comenzó a dar síntomas leves de degradación externa a los 84 días después de trasplante (Tabla 4). Se mantuvo prácticamente igual hasta los 118 días después de trasplante, cuando el primer pase de recolección ya se había dado. Fue a los 165 días después de trasplante (ya se había recolectado todo el pimiento) cuando su degradación aumentó. En la última valoración visual, a los 202 días después de trasplante, era, tras el PE, el material que más restos había dejado. Estos restos desaparecieron al enterrarlos, durante la preparación del terreno para el siguiente cultivo, como ocurrió en el ensayo de Macua *et al* (2005).

Entre los nuevos plásticos biodegradables (SP-1, SP-2 y SP-3), destacar el comportamiento que tuvo SP-1. Durante el ciclo del cultivo, y posteriormente, hasta los 165 días después de trasplante, este material apenas mostró signos de degradación. Sin embargo, el 13 de diciembre del 2012, a los 202 días después de trasplante, apenas quedaba algún resto de acolchado en campo. Es interesante porque durante el cultivo tuvo una degradación parecida al PE (material de referencia), y posteriormente su degradación fue muy rápida. SP-2 y SP-3 se comportaron de manera mas más parecida a Mater-Bi, presentando signos leves de degradación durante el cultivo, y aumentando su descomposición a partir de los 118 días después de trasplante (Tabla 7).

En cuanto a los acolchados de papel, ya hemos hablado de su dificultad de colocación, y de su fragilidad a las roturas transversales. Estas roturas, en días de fuerte viento, pueden ocasionar el levantamiento de partes del acolchado. Este es un problema importante en toda la zona del valle del Ebro, donde el cierzo es un factor a tener muy en cuenta. La degradación de la zona externa de los papeles fue parecida entre ellos (algo más marcada en Verso que en Mimcord), y se ajustó bien al ciclo del pimiento (Tabla 7). El papel se mantuvo en el campo hasta finalizada la cosecha, y posteriormente desapareció. A los 165 días después de trasplante apenas quedaban restos, y a los 202 días después de trasplante, estos habían desaparecido por completo. Este comportamiento de los papeles coincide con lo expuesto por Cirujeda *et al* (2012), donde afirma que la parte exterior de los papeles se mantiene con pocos daños hasta la finalización del cultivo.

En el anexo 1 se muestran las fotos tomadas de la zona externa del acolchado en cada una de las fechas de muestreo.

4.5.2.-Degradación zona enterrada.

La valoración visual de la parte enterrada se hizo de la misma manera que la de la parte externa, basándose en la escala de degradación proporcionada por la empresa Novamont (Tabla 8).

Tabla 8.- Degradación de la zona enterrada de los materiales de acolchado durante todo el ciclo de cultivo y tras la recolección.

Tratamiento	14 DDT	31 DDT	46 DDT	84 DDT	118 DDT	165 DDT	202 DDT
SP-1	8,25 a	8,25 a	8 a	7,5 ab	4,25 b	3,75 b	1 b
SP-2	8,5 a	6,5 b	6,25 b	4,5 c	1,75 c	1 d	1 b
SP-3	7 ab	4,75 c	4,25 b	4 c	1,25 c	1 d	1 b
Mater-Bi	5,5 bc	5,5 bc	5 b	5 bc	5 b	2,75 c	1,5 b
PE	9 a	9 a	9 a	9 a	9 a	8 a	8 a
Mimcord	4,25 c	2,5 d	1 c	1 d	1 c	1 d	1 b
Verso	1,75 d	1,25 d	1 c	1 d	1 c	1 d	1 b

Tratamientos con la misma letra en la misma columna no difieren con $P < 0,05$

En cuanto a la degradación de la parte enterrada, se observa como los papeles se degradaron muy rápidamente, y de entre ellos es el Verso el más destacado. A los 14 días después de trasplante el papel Verso estaba casi totalmente degradado (valor medio de 1.75), y a los 31 días después de trasplante prácticamente había desaparecido. El papel Mimcord aguantó algo más, pero a los 46 días después de trasplante también había desaparecido totalmente. Aun así, los papeles aguantaron en su posición y no se levantaron por acción del viento. Se confirma que los papeles se degradan mucho más rápido en su parte enterrada que en su parte externa.

Concuerda con lo afirmado por Cirujeda *et al* (2012), que recomiendan incorporar el papel al suelo una vez finalizado el cultivo.

El PE no se degradó nada hasta cosecha, y a los 202 días después de trasplante apenas se apreciaba degradación (Tabla 8). Se observa como la velocidad de degradación del PE es similar en la parte externa que en la parte enterrada. Por lo tanto, la labor de enterrar los restos de PE tras la cosecha tan solo consigue que el viento no los esparza, no aumenta su velocidad de degradación.

De entre los acolchados biodegradables, Mater-Bi se había degradado a los 14 días después de trasplante más que el resto, siendo la diferencia significativa respecto a SP-1 y SP-2, pero su degradación se ha mantenido más o menos constante hasta la finalización del cultivo. SP-1 fue el biodegradable que mejor aguantó, siendo a los 46 días después de trasplante su degradación parecida a la del PE. A los 118 DDT los materiales SP-2 y SP-3 casi habían desaparecido, y se diferenciaban significativamente respecto a SP-1 y Mater-Bi. Tras la cosecha, a los 202 DDT, todos los materiales biodegradables habían desaparecido casi por completo. Queda probado que los materiales plásticos biodegradables se descomponen más rápidamente cuando están enterrados que cuando no. Por lo tanto, al igual que los papeles, se recomienda su enterrado una vez finalizado el cultivo.

En el anexo 2 se adjuntan las fotos de la zona enterrada correspondientes a los días de muestreo.

4.5.3.-Presencia de lesiones.

Por lesiones se entienden las roturas, agujeros, grietas, que pueden aparecer en el acolchado disminuyendo su vida útil. En la Tabla 9 se refleja la presencia de lesiones en los materiales de acolchado a lo largo del cultivo. Indicar que sólo se tomaron datos de lesiones en una de las repeticiones.

Tabla 9.- Presencia de lesiones en los materiales de acolchado a los 14, 31, 46, 84, 118, 165 y 202 días después del trasplante.

Tratamiento	14 DDT	31 DDT	46 DDT	84 DDT	118 DDT	165 DDT	202 DDT
SP-1	9	9	8	8	7	5	3
SP-2	9	9	8	7	6	3	2
SP-3	9	8	8	7	6	4	2
Mater-Bi	9	9	7	5	5	4	3
PE	9	9	9	9	9	8	7
Mimcord	9	6	6	5	3	1	1
Verso	7	6	5	5	3	1	1

En los acolchados de papel aparecieron grietas trasversales muy pronto. En el papel Verso se vio a los 14 días después de trasplante, y en el Mimcord a los 31 días después de trasplante. En los acolchados plásticos biodegradables las lesiones masmas importantes se vieron a partir de los 46 DDT. El PE se mantuvo prácticamente intacto hasta los 118 DDT. La mayoría de las lesiones se produjeron por pisar el acolchado. En otras ocasiones, hacia el final del cultivo, la propia tensión del acolchado junto con la degradación ya existente, provocaba grietas que finalmente se rajaban. En la Figura 28 se muestra una de estas lesiones en el material SP-1.



Figura 28.- Raja longitudinal provocada por la elevada tensión del acolchado

4.5.4.-Resistencia a los tirones.

La resistencia a los tirones se midió introduciendo el dedo por uno de los agujeros del acolchado y tirando de el mismo. De este modo se evaluaba la resistencia del acolchado hasta

que se rompía. El valor 9 corresponde a una alta resistencia, y el 1 a una resistencia mínima. Éste es un método de valorar la degradación del material, puesto que cuando éste está nuevo ofrece una alta resistencia, y disminuye conforme el material se va descomponiendo. Los resultados se reflejan en la Tabla 10. En este caso, los datos de resistencia a rotura también se registraron solamente en una de las repeticiones.

Tabla 10.- Resistencia a los tirones en los materiales de acolchado a los 14, 31, 46, 84, 118, 165 y 202 días después del trasplante.

Tratamiento	14 DDT	31 DDT	46 DDT	84 DDT	118 DDT	165 DDT	202 DDT
SP-1	9	9	9	9	7	5	2
SP-2	9	9	8	8	7	3	2
SP-3	9	8	8	7	6	5	1
Mater-Bi	8	8	8	8	6	4	2
PE	9	9	9	8	8	8	7
Mimcord	9	6	5	5	3	1	1
Verso	9	7	7	5	3	1	1

El material que mayor resistencia a los tirones tenía era el PE, puesto que al tirar de el mismo, se estiraba antes de llegar a romperse. Esto da muestra de su plasticidad. El resto de materiales plásticos biodegradables también tenían este comportamiento, aunque en menor medida. Con el paso del tiempo, los plásticos biodegradables fueron perdiendo esta característica, mientras que el PE la conservaba. En general, todos los acolchados plásticos biodegradables mostraron una elevada resistencia a los tirones hasta el final del cultivo. A los 165 días después de trasplante, una vez finalizada la cosecha, SP-1 era el plástico biodegradable que mejor resistía, mientras que SP-2 era el que menor. A los 202 días después de trasplante, todos los plásticos biodegradables habían perdido su plasticidad y al hacer la prueba se rompían.

En cuanto a los papeles, en un principio eran igual de resistentes que los plásticos, pero no tenían la capacidad de deformarse. A mediados del cultivo, a los 84 días después de trasplante, fueron los materiales que menor resistencia a los tirones ofrecían. Al igual que los plásticos biodegradables, a los 202 días después de trasplante, su resistencia fue nula.

4.6.- PRODUCCIÓN

La producción comercial es el parámetro más importante, puesto que se podrá ver si los tratamientos efectuados tienen alguna influencia práctica en la producción del cultivo, es decir, si afectan o no al rendimiento esperado.

La recolección del pimiento es escalonada, en dos o tres pases. Si bien a nivel de agricultor la cosecha se puede dar por finalizada tras el segundo pase (la rentabilidad de una 3ª cosecha no está clara), en este trabajo la recolección se realizó en tres pases: el primero el 11 de septiembre (109 DDT), el segundo el 3 de octubre (131 DDT), y el tercero el 25 de octubre (153 DDT).

En la recolección se distinguió entre producción comercial, destrio, soleado, lacio y podrido.

4.6.1.- Producción precoz

En la Tabla 11 se muestran los resultados de producción precoz (11 de septiembre de 2012), con la separación de medias, distinguiendo entre producción comercial, destriodestrío, soleado, lacio y podrido. En la Figura 29 se representa gráficamente la producción comercial frente a la no comercial (suma de destriodestrío, soleado, lacio y podrido) obtenida el 11 de septiembre de 2012.

Tabla 11.- Producción precoz de pimiento (recolectada el 11 de septiembre).

Tratamiento	Comercial (t/ha)		DestrioDestrío (t/ha)		Soleado (t/ha)		Lacio (t/ha)		Podrido (t/ha)
SP-1	10,77	a	0,34	a	3,22	ab	0	a	0,00
SP-2	10,93	a	0,81	a	3,07	abc	0	a	0,00
SP-3	8,02	ab	0,33	a	2,91	abcd	0,20	a	0,00
Mater-Bi	10,12	a	0,17	a	1,94	bcde	0	a	0,00
PE	8,14	ab	0,38	a	3,57	a	0	a	0,00
Mimcord	6,95	abc	0,49	a	1,59	cdef	0	a	0,00
Verso	7,29	abc	0,53	a	1,48	def	0	a	0,00
T con MH	2,47	c	0,53	a	0,30	f	0	a	0,00
T sin MH	4,59	bc	0,64	a	0,52	ef	0	a	0,00

Tratamientos con la misma letra en la misma columna no difieren con $P < 0,05$

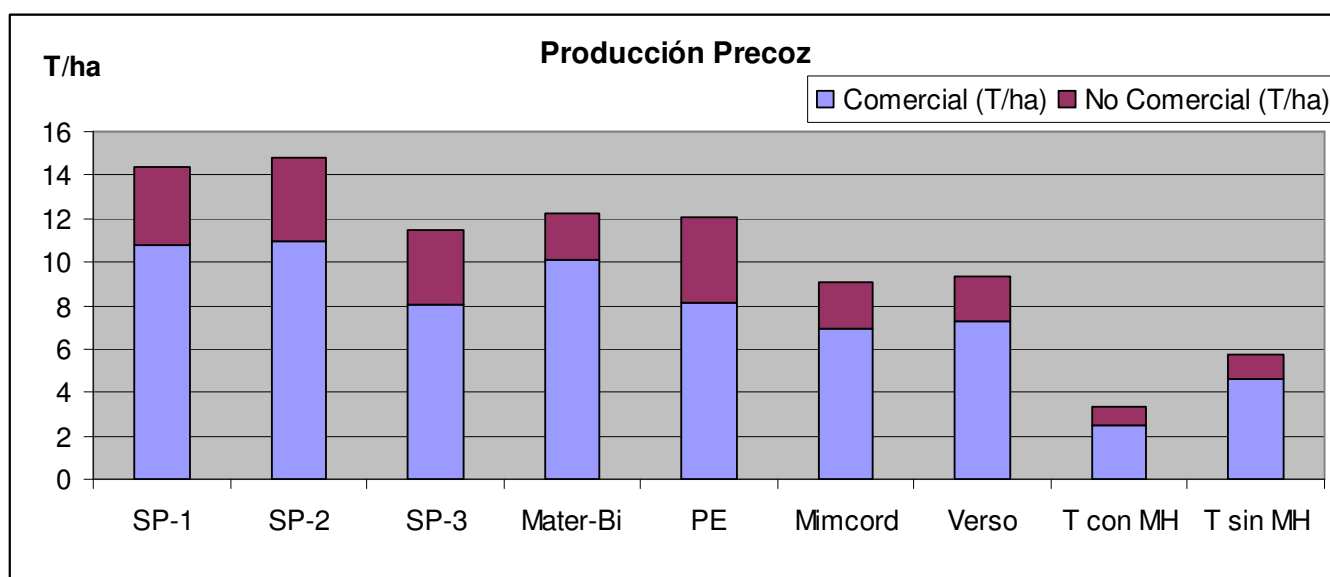


Figura 29.- Producción de pimienta precoz separado en comercial y no comercial (t/ha).

En la primera recolección, realizada el día 11 de septiembre, se observa como no hubo presencia de frutos podridos, y tan solo 0,20 t/ha de pimienta lacio, en el acolchado SP-3, sin que esto suponga diferencias significativa respecto al resto de materiales (Tabla 11).

En cuanto a la producción comercial, las diferencias significativas se observan tan solo entre los acolchados plásticos y los tratamientos sin acolchar, sin que las haya entre los plásticos biodegradables, los papeles y el PE (Tabla 8). No hay diferencias significativas entre los papeles y los tratamientos sin acolchar, ni entre el PE y los papeles. De todas formas, se ve como el acolchado SP-2 fue el que más toneladas comerciales por hectárea produjo (10,93 t/ha), seguido de SP-1 con 10,77 t/ha y Mater-Bi con 10,12 t/ha. De los tratamientos con acolchado, los que menor producción precoz obtuvieron fueron los papeles, en concordancia con lo concluido por Macua *et al* (2009) en su ensayo sobre acolchados biodegradables en pimienta del piquillo.

Tampoco hay diferencias significativas entre ningún tratamiento en lo que se refiere a pimienta de destriado.

En cuanto a pimienta soleada, sí que existen diferencias significativas entre los tratamientos sin acolchar y el PE, SP-1, SP-2 y SP-3. El de menor producción soleada es el tratamiento con malas hierbas y el de mayor es el PE. Esto pudo ser debido a que los frutos de los tratamientos sin acolchar eran bastante más pequeños, y por tanto no estaban tan expuestos a la radiación directa como en el caso de los tratamientos acolchados. Además, en el tratamiento con malas hierbas, la humedad a la que se encontraban los frutos era mayor que en el resto de tratamientos debido a la vegetación de las malas hierbas que cubrían el cultivo.

A continuación, en la Tabla 12 se muestra el porcentaje y la separación de medias de producción comercial, respecto al porcentaje de destriado, soleado y lacio.

Tabla 12.- Porcentaje de pimiento precoz comercial, de destrio, soleado y lacio.

Tratamiento	% Comercial	% Destrio	% Soleado	% Lacio	% Podrido
SP-1	75,27 a	2,10 a	22,63 ab	0 a	0,00
SP-2	74,16 a	5,14 a	20,70 ab	0 a	0,00
SP-3	69,97 a	2,88 a	25,31 b	1,85 a	0,00
Mater-Bi	81,17 a	1,33 a	17,50 ab	0 a	0,00
PE	67,59 a	2,90 a	29,51 b	0 a	0,00
Mimcord	77,02 a	5,21 a	17,77 ab	0 a	0,00
Verso	75,43 a	6,28 a	18,29 ab	0 a	0,00
T con MH	75,09 a	15,60 a	9,30 a	0 a	0,00
T sin MH	78,54 a	11,71 a	9,76 a	0 a	0,00

Tratamientos con la misma letra en la misma columna no difieren con $P < 0,05$

En la Tabla 12 se ve como el acolchado con mayor porcentaje de producción comercial es el Mater-Bi (81,17%), seguido del tratamiento sin malas hierbas (78,54%). El PE es el tratamiento de menor porcentaje de producción comercial (67,59%), seguido del material SP-3 (69,97%). Pese a ello, no existen diferencias significativas entre los distintos tratamientos.

En cuanto a porcentaje de destriodestrio, a pesar de que tampoco se vieron diferencias significativas entre tratamientos, el tratamiento con malas hierbas es el de mayor porcentaje (15,60%), por delante del tratamiento sin malas hierbas (11,71%). El de menor porcentaje de destriodestrio es el Mater-Bi (1,33%).

En lo que se refiere a porcentaje de fruto soleado, los tratamientos sin acolchar son los que menos lo han sufrido, y el PE (29,51%) y el SP-3 (25,31%) los que más. Existen diferencias significativas entre el porcentaje de frutos soleados de PE y de SP-3, respecto a los tratamientos sin acolchar.

4.6.2.- Producción total

A continuación, en la Tabla 13 se muestran los resultados y la separación de medias de la producción total de pimiento (suma de las tres recolecciones), distinguiendo entre pimiento comercial, destriodestrio, soleado, lacio y podrido. En la Figura 30 se representa gráficamente la producción comercial de cada tratamiento, frente a la producción no comercial (suma de destriodestrio, soleado, lacio y podrido).

Tabla 13.- Producción total de pimienta.

Tratamiento	Comercial (t/Ha)	Destrio (t/Ha)	Soleado (t/Ha)	Lacio (t/Ha)	Podrido (t/Ha)
SP-1	46,40 a	1,72 a	6,01 ab	0,84 a	0,38 a
SP-2	46,40 a	2,10 a	5,80 ab	0,82 a	0,51 a
SP-3	45,08 a	1,17 a	5,57 abc	0,51 a	0,81 a
Mater-Bi	47,12 a	0,98 a	3,86 bc	1,06 a	0,93 a
PE	44,54 a	1,37 a	7,53 a	0,78 a	0,76 a
Mimcord	47,86 a	1,03 a	4,01 ab	0,72 a	0,30 a
Verso	47,86 a	1,89 a	3,70 abc	0,15 a	1,11 a
T con MH	9,33 b	0,53 a	1,20 bc	0,00 a	0,31 a
T sin MH	34,78 a	2,08 a	3,21 bc	0,33 a	0,27 a

Tratamientos con la misma letra en la misma columna no difieren con $P < 0,05$

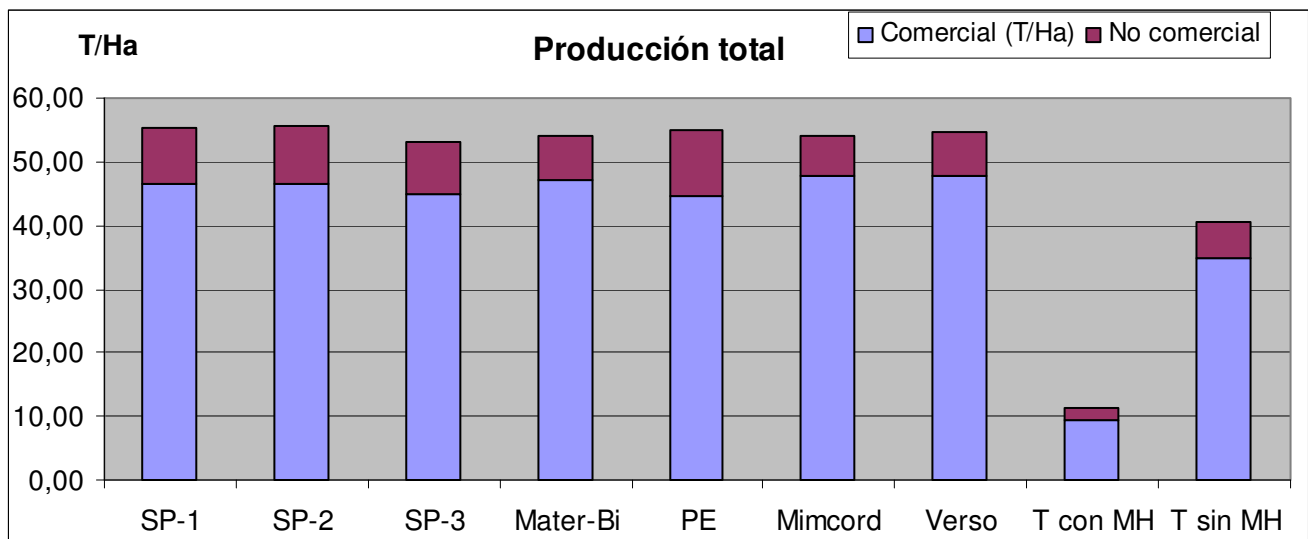


Figura 30.- Producción total de pimienta separado en comercial y no comercial (t/ha).

En cuanto a la producción comercial de pimienta, no existen diferencias significativas entre los tratamientos acolchados ni entre estos y el desherbado manualmente, pero sí entre todos ellos con respecto al tratamiento sin desherbar. Este último fue el de menor producción (9,33 t/ha), y esto es debido a la alta competencia que el pimienta tenía con las malas

hierbas. El siguiente tratamiento con menor producción comercial fue el testigo desherbado manualmente, con 34,78 t/ha, pero sin existir diferencias significativas respecto a los acolchados.

Entre los tratamientos acolchados no han existido diferencias significativas. Se puede concluir que el acolchado biodegradable (tanto plástico como de papel) se comporta igual que el tradicional PE en lo que se refiere a producción. Esto coincide con Macua *et al* (2005) que afirman que los acolchados biodegradables presentan las mismas ventajas que el acolchado tradicional, sin dejar residuos en el suelo.

En cuanto a la producción no comercial, solo existen diferencias significativas entre tratamientos en lo referente a fruto soleado. Lo que significa que el tipo de acolchado no influye en el porcentaje de frutos de destriodestrio, lacios o podridos, pero si en el porcentaje de frutos soleados. El PE es con diferencia el material que mas toneladas de fruto soleado produjo (7,53 t/ha), siendo su diferencia significativa respecto a Mater-Bi, y los testigos sin acolchar.

A continuación, en la Tabla 14 se muestra el porcentaje y la separación de medias de producción comercial, respecto al porcentaje de destriodestrio, soleado y lacio.

Tabla 14.- Porcentaje de pimiento comercial, de destriodestrio, soleado, lacio y podrido.

Tratamiento	% Comercial	% DestrioDestrio	% Soleado	% Lacio	% Podrido
SP-1	83,78 a	3,12 a	10,92 ab	1,54 a	0,65 a
SP-2	83,10 a	3,57 a	10,94 ab	1,51 a	0,88 a
SP-3	84,44 a	2,43 a	10,59 ab	1,22 a	1,33 a
Mater-Bi	87,18 a	1,64 a	7,40 b	2,10 a	1,69 a
PE	80,75 a	2,57 a	13,81 a	1,54 a	1,35 a
Mimcord	88,42 a	2,01 a	7,65 b	1,44 a	0,48 a
Verso	87,49 a	3,48 a	6,77 b	0,28 a	1,99 a
T con MH	75,90 a	12,36 a	10,07 ab	0,00 a	1,67 a
T sin MH	85,54 a	5,10 a	7,90 ab	0,81 a	0,66 a

Tratamientos con la misma letra en la misma columna no difieren con $P < 0,05$

En cuanto a porcentaje de producción comercial, no existieron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos. El papel Mimcord fue el tratamiento con mayor porcentaje de producción comercial (88,42%), y frente a él, el tratamiento sin desherbar fue el de menor porcentaje de producción comercial (75,90%).

Tampoco existen diferencias significativas en cuanto a porcentaje de producción de destriodestrio, de lacio ni de podrido. Si que hay diferencias significativas en lo referente a

porcentaje de producto soleado. El tratamiento con más porcentaje de producto soleado fue PE (13,81%), siendo significativamente mayor que Mater Bi (7,40%), y que los acolchados de papel (7,65% Mimcord y 6,77% Verso).

El soleado se produce en condiciones de elevadas temperaturas y baja humedad relativa (asurado), y en los frutos en los que el sol incide directamente (golpe de sol). El hecho de que el acolchado con PE haya tenido mayor porcentaje de frutos soleados se debe a que sus frutos estaban más expuestos al sol. Recordando los resultados de producción de biomasa seca, veíamos como a los 97 días después de trasplante, el PE era uno de los acolchados con menor peso seco de hojas y tallos, es decir, sus frutos tenían menor protección frente al sol. Además, la temperatura media bajo el acolchado de PE fue la mayor de entre todos los acolchados. Estas dos condiciones podrían explicar que el PE fuera el tratamiento con más frutos afectados por el soleado.

En la Figura 31 se muestra el porcentaje de producción comercial recogido en cada fecha.

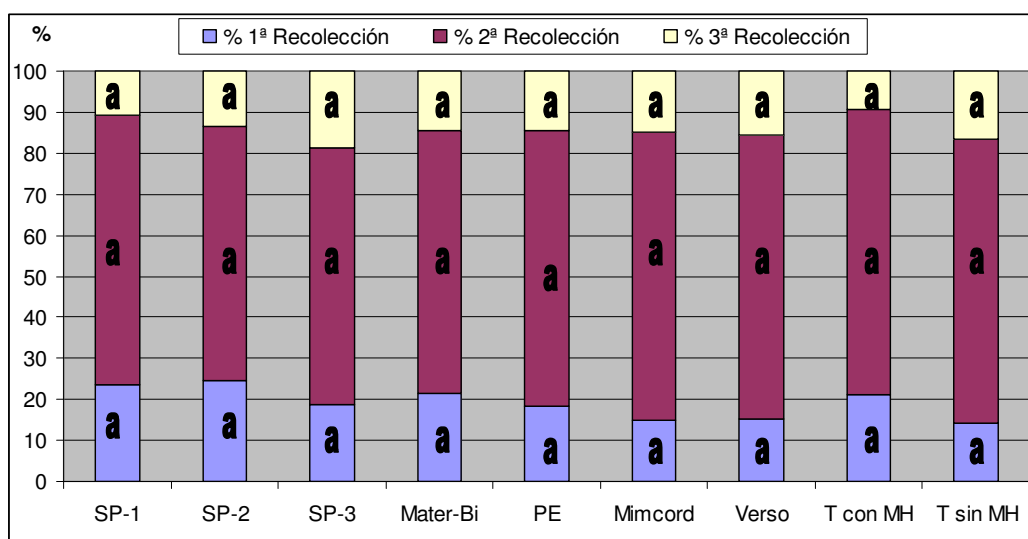


Figura 31.- Porcentaje de producción comercial cosechada en cada fecha. Las letras de cada columna indican si existen diferencias significativas entre los tratamientos, al 5% de significación según el test DHS de Tukey.

En la Figura 31 se ve como no existieron diferencias significativas en el porcentaje de producción comercial en ninguna de las fechas de recolección. Esto indica que, en términos relativos, no hay diferencia de precocidad ni de producción tardía entre los tratamientos.

Considerando como producción precoz la cosechada el 11 de septiembre, se ve como el acolchado SP-2 (24,53%) y el SP-1 (23,39%) han sido los tratamientos con mayor porcentaje de producción precoz.

En todos los tratamientos, la mayor parte de la cosecha ha sido recogida el 3 de octubre (2ª recolección). En el acolchado SP-3, la tercera recolección alcanza el 18,88% de la producción comercial total, aspecto a tener en cuenta porque como se ha comentado antes, normalmente la tercera recolección no es rentable.

4.7.- CARACTERÍSTICAS DEL FRUTO.

El día 11 de septiembre de 2012, 109 días después de trasplante, se tomaron aleatoriamente 15 frutos de cada tratamiento, y se tomaron datos de ellos tales como peso, longitud, anchura, grosor de la carne y peso del corazón. El motivo era conocer si el tipo de acolchado influye en las características del fruto.

En la Figura 32 se muestra un gráfico con la media de peso de los 15 frutos de cada tratamiento. En la Figura 33 están representadas las medias de longitud de los 15 frutos de cada tratamiento. En la Figura 34 el gráfico representa la anchura de los frutos. De cada fruto se tomaron dos medidas de anchura, y posteriormente se hizo la media de ambas. La Figura 35 muestra la media de grosor de carne de cada uno de los tratamientos. En este caso también se tomaron dos medidas de grosor, y luego se hizo una media para cada fruto. La Figura 36 muestra el rendimiento en carne, expresado en porcentaje. Para obtenerlo, se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento en carne (\%)} = [(\text{Peso fruto} - \text{Peso corazón}) * 100] / \text{Peso fruto}$$

Letras iguales distintas letras sobre dentro de las columnas indican si que no existen diferencias significativas o no entre los tratamientos.

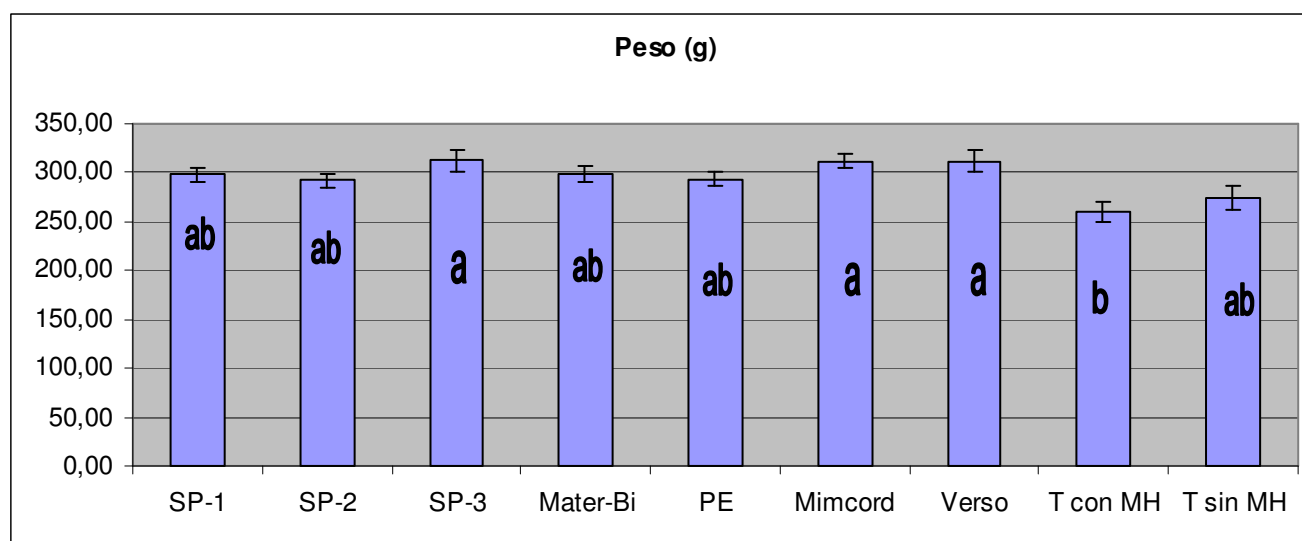


Figura 32.- Peso medio (g) de fruto de cada tratamiento.

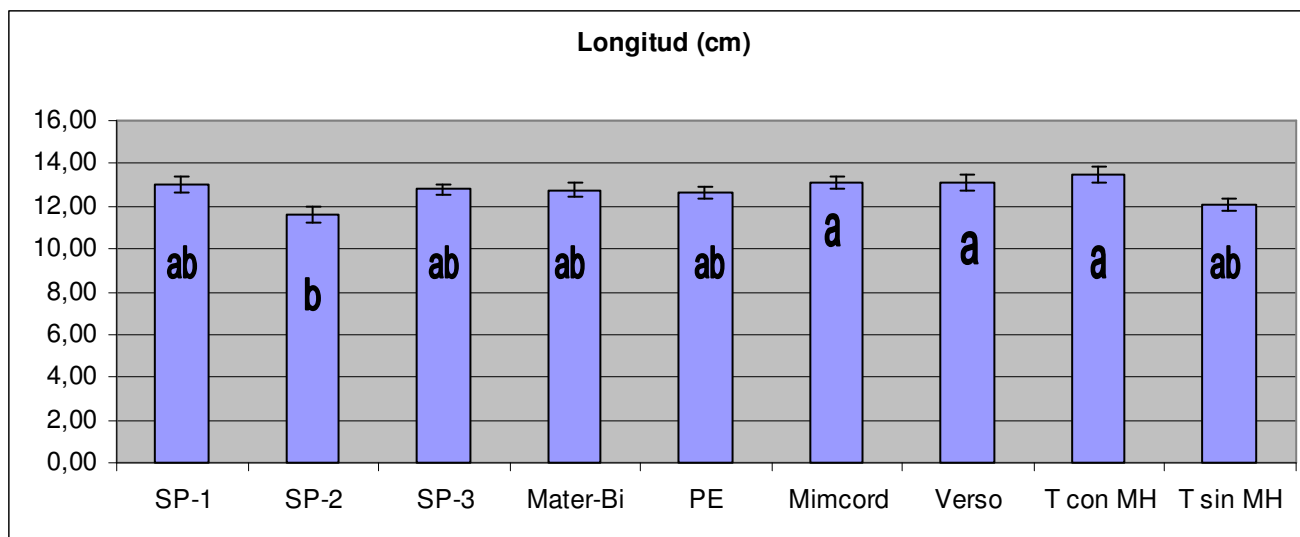


Figura 33.- Longitud media (cm) de fruto de cada tratamiento.

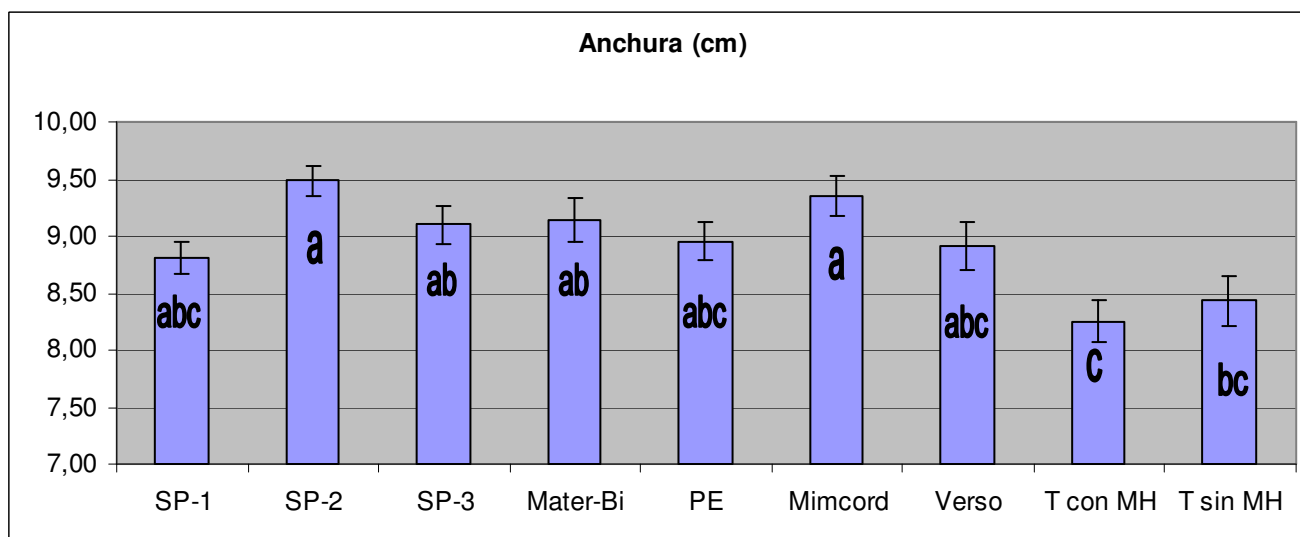


Figura 34.- Anchura media (cm) de fruto de cada tratamiento.

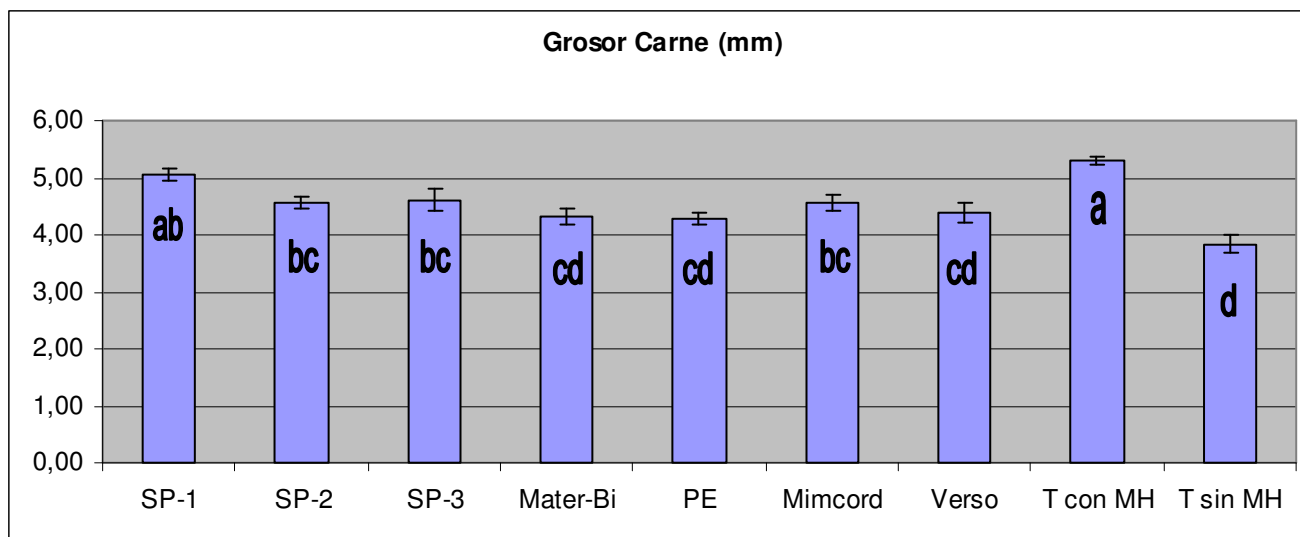


Figura 35.- Grosor medio (mm) de la carne del fruto de cada tratamiento

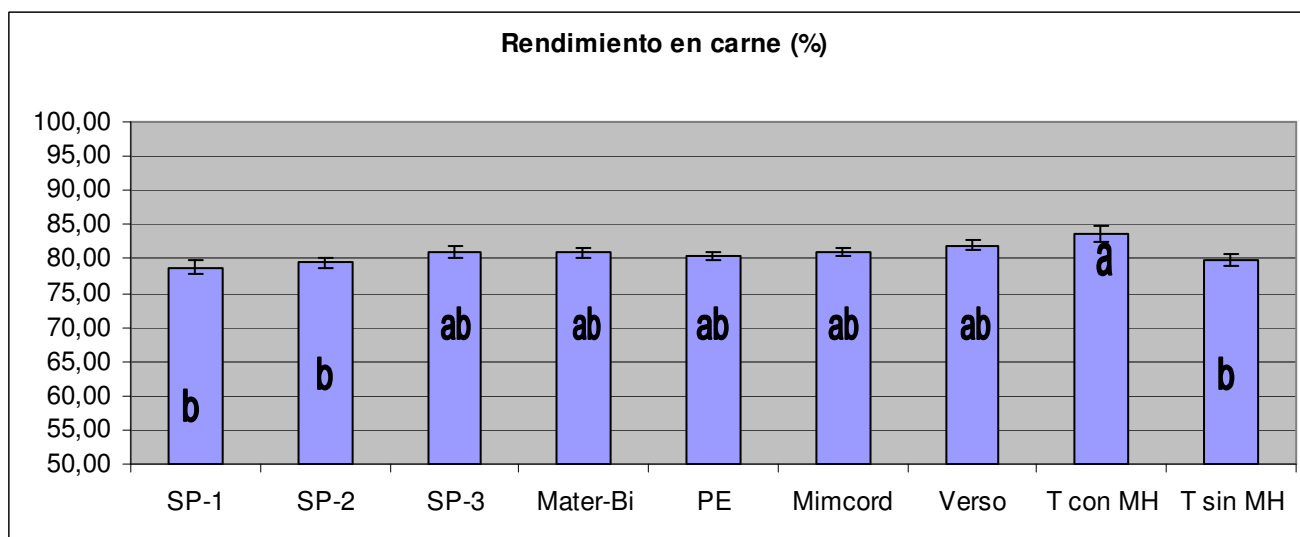


Figura 36.- Rendimiento en carne (%) de los frutos de cada tratamiento.

En cuanto a peso de fruto, existieron diferencias significativas entre SP-3 y los papeles, que superaron los 300 gramos por fruto, con respecto al tratamiento con malas hierbas, cuyo peso medio de fruto fue de 274,2 gramos (Figura 32). Entre el resto de tratamientos no hubo diferencias significativas. Estos resultados coinciden con los expuestos por Macua *et al* (2009) donde el peso por fruto del tratamiento Mimcord, el PE y el Mater-Bi era similar.

Los frutos de mayor longitud se obtuvieron en los papeles Mimcord (13,1 cm), Verso (13,09 cm) y en el tratamiento con malas hierbas (13,47 cm). Existieron diferencias significativas entre estos y el acolchado SP-2, cuyos frutos fueron los de menor longitud (11,6 cm) (Figura 33).

Los frutos de menor anchura fueron los del tratamiento con malas hierbas (8,25 cm), siendo significativamente menores que los frutos de los tratamientos Mimcord (9,35 cm), SP-2 (9,49 cm), SP-3 (9,1 cm) y Mater-Bi (9,15 cm) (Figura 34).

Los frutos del tratamiento con malas hierbas fueron los que más grosor de carne presentaron (5,31 mm), siendo este grosor significativamente mayor al del resto de tratamientos, excepto SP-1 (5,06 mm). Los frutos de menor grosor fueron los del tratamiento sin malas hierbas (3,84 mm), significativamente menor que SP-1, SP-2, SP-3, el papel Mimcord y el tratamiento con malas hierbas (Figura 35).

Los resultados obtenidos de longitud y anchura, en los cuales los frutos del acolchado con PE no difieren significativamente del resto de acolchados biodegradables, coinciden con los obtenidos por Moreno *et al* (2006) en el que se comparó el PE con otros acolchados biodegradables.

En cuanto a rendimiento en carne, SP-1, SP-2 y el tratamiento sin malas hierbas fueron los tratamientos con los frutos de menor rendimiento (78,8%, 79,4% y 79,9% respectivamente) (Figura 38). Frente a ellos, y con diferencias significativas, se encuentra el tratamiento con malas hierbas (83,6%). Para la agroindustria, hasta ahora, este es un factor importante, puesto que cuanto mayor sea el rendimiento en fruto, mejor es el rendimiento de fabricación. Para el agricultor, este factor está ganando importancia, ya que la agroindustria pide cada vez más que el pimiento llegue a fábrica sin corazón.

4.8.- ANALISIS ECONÓMICO.

A continuación se muestra realizó una valoración económica del ensayo, con el objetivo de comparar los distintos tratamientos entre si. Por ello, en primer lugar se exponen los costes comunes a todos los tratamientos como son las materias primas (planta, herbicidas, insecticidas, fertilizante, cinta de goteo, etc.), los trabajos de campo (preparación del terreno, plantación, cosecha, etc.), la mano de obra necesaria para las distintas actividades, así como alquiler de la tierra, agua de riego, transporte de la cosecha, etc.

Los datos mostrados en la Tabla 15 pertenecen al estudio de costes y beneficio que la industria congeladora Gelagri Ibérica S.A.U. ha realizado en la campaña 2013, para el cultivo de pimiento en Córdoba. En ellos no están incluidos el coste del acolchado ni de su colocación. Los costes de recolección tampoco se incluyen puesto que varían en función de la producción.

Tabla 15.- Costes comunes a todos los tratamientos (Gelagri, 2013).

			CONCEPTO	DOSIS Ud/ha	PRECIO €/Ud	IMPORTE €/ha
COSTE DE INPUTS						
SEMILLAS O PLANTAS			37500 PLANTAS	37500	0,0544	2040,0
FERTILIZANTES	fondo		COMPOST	3000	0,15	450,0
	cobertera		N32	250	0,28	70,0
			4-8-12	800	0,28	224,0
			ENMIENDA ORGANICA LIQUIDA	200	1,2	240,0
			NITRATO POTASICO	200	0,8	160,0
HERBICIDAS	siembra		PENDIMETALINA	3,5	7,42	26,0
FITOSANITARIOS	INSECTICIDAS		B.T. 32 % (7 TRATAMIENTOS)	7	23	161,0
			ABENTA (2 TRATAMIENTOS)	2	16,47	32,9
	FUNGICIDAS		AZUFRE FLOW (2 TRAT.)	4	2	8,0
AGUA DE RIEGO			6000 M3	6000	0,07	420,0
OTROS SUMINISTROS			MANGUERA DE GOTEOS (6200m)	6200	0,06	372,0
				(A)	SUBTOTAL:	4203,91
COSTES DE LA MAQUINARIA						
PREPARACION TERRENO			UN PASE DE CHISSEL	1	50	50,0
			UN PASE DE CULTIVADOR	1	50	50,0
			UN PASE DE GRADA ROTATIVA	2	50	100,0
PLANTACION O SIEMBRA			MARCAR	0,5	50	25,0
LABOREO DEL CULTIVO			CULTIVADOR (3 PASES)	1,98	40	79,2
TRAT. FITOSANITARIOS			13 TRATAMIENTOS (8 pases)	8	40	320,0
ABONADO			APLICAR COMPOST	1	40	40,0
RECOLECCION			TRACTOR	15	20	300,0
TRANSPORTE			TRANSPORTE A FABRICA	15	20	300,0
				(B)	SUBTOTAL:	1264,20
COSTES DE LA MANO DE OBRA CONTRATADA						
PLANTACION			PLANTACION DE 37500 PLANTAS	37500	0,01	375,0
LABORES DE CULTIVO			QUITAR MALAS HIERBAS	7	45	315,0
			RIEGOS Y FERTIRRIGACION	3	45	135,0
			INSTALAR Y DESMONTAR RIEGO	4	45	180,0
				(C)	SUBTOTAL:	1005,00
OTROS COSTES						
ALQUILER TIERRA				1	600	600,0
				(D)	SUBTOTAL:	600,0
				COSTO TOTAL		7073,11

La recolección se realiza manualmente, y antes de llevar el pimiento a la industria, se le extrae el corazón. Estas dos operaciones requieren 11 horas por tonelada, y el coste de la mano de obra es de 7 €/hora, por lo que el coste de recolección y manipulado es de 77 €/t. Si el producto no se manipula, y se lleva el pimiento entero a fábrica, se necesitarían

aproximadamente 7 horas para recoger 1000 kilos de pimienta, lo que conlleva un coste de 49 €/t. Este análisis económico se realiza basándose en la segunda idea, la de llevar el pimienta entero a la industria.

En la Tabla 16 se muestran los costes específicos de recolección para cada tratamiento, con su respectiva producción comercial.

Tabla 16.- Coste de recolección para cada tratamiento.

Tratamiento	t/ha	Recolección (€/t)	Coste Recolección (€/ha)
SP-1	46,40	49	2273,6
SP-2	46,40	49	2273,6
SP-3	45,08	49	2208,92
Mater-Bi	47,12	49	2308,88
PE	44,54	49	2182,46
Mimcord	47,86	49	2345,14
Verso	47,86	49	2345,14
T con MH	9,33	49	457,17
T sin MH	34,78	49	1704,22

En el caso de los costes de los materiales, tan solo hay datos concretos del precio del PE, de Mater-Bi, del papel Mimcord (Lacasa, 2008), y del papel Verso (Dr J.I. Macua, comunicación personal). Los materiales SP-1, SP-2 y SP-3 de la empresa Sphere todavía no se comercializan, por lo que, para el análisis económico del presente trabajo, se le aplicará un precio similar al material biodegradable de referencia (Mater-Bi). Teniendo en cuenta que la superficie cubierta por los acolchados es de 2/3 de la superficie total, resulta el siguiente coste reflejado en la Tabla 17.

Tabla 17.- Costes de los materiales de acolchado considerando que se cubre 2/3 del suelo de la parcela.

Material	PE	Mater-Bi	Mimcord	Verso
EmpresaCasa comercial	-	Novamont	Mimgreen	Verso
g/m2	16	22	85	60
€/kg	2,00	4,75	1,50	1,80
€/m2	0,033	0,106	0,128	0,108
€/ha	218,67	706,17	850,00	720,00

A estos costes hay que añadirle los propios de cada tratamiento. En el caso del desherbado manual, la operación se realiza en tres ocasiones. Para cada desherbado el rendimiento es de 20 h/ha, y el coste de la mano de obra es de 10 €/hora. Por lo tanto el coste de desherbado es de 600 €/ha. En el caso de los acolchados, el coste de colocación de los acolchados es de 17 €/ha. Al PE hay que añadirle 32 €/ha de retirada del acolchado (Gutiérrez *et al*, 2005). La colocación de los acolchados de papel es mas lenta y laboriosa, por lo que el coste de colocación puede ascender a 26 €/ha (Lacasa, 2008).

En la Tabla 18 se resumen los costes de cultivo, de acolchado y específicos de cada tratamiento. También se incluye una relación porcentual de los costes de cada tratamiento, respecto al cultivo tradicional de acolchado con PE.

Tabla 18.- Resumen de costes para los diferentes tratamientos.

Tratamiento	Costes comunes (€/ha)	Material (€/ha)	Costes específicos (€/ha)	Coste total (€/ha)	%
SP-1	7073,11	706,17	17	7796,28	106,21
SP-2	7073,11	706,17	17	7796,28	106,21
SP-3	7073,11	706,17	17	7796,28	106,21
Mater-Bi	7073,11	706,17	17	7796,28	106,21
PE	7073,11	218,67	49	7340,78	100,00
Mimcord	7073,11	850,00	26	7949,11	108,29
Verso	7073,11	720,00	26	7819,11	106,52
T con MMHH	7073,11	0	0	7073,11	96,35
T sin MMHH	7073,11	0	600	7673,11	104,53

Respecto a los ingresos, se considera la producción comercial. El precio de la tonelada de pimienta roja entero es de 270 €/t (Gelagri, 2013). Consideramos que el 100 % de la producción es de pimienta roja, pero hay que saber que una parte de la producción es de pimienta verde y de pimienta entrecortada, cuyo precio sería menor. En la Tabla 19 se muestran los ingresos que se hubieran obtenido con cada tratamiento.

Tabla 19.- Resumen de ingresos para cada tratamiento.

Tratamiento	t/ha	€/t	Ingresos (€/ha)
SP-1	46,40	270	12528,0
SP-2	46,40	270	12528,0
SP-3	45,08	270	12171,6
Mater-Bi	47,12	270	12722,4
PE	44,54	270	12025,8
Mimcord	47,86	270	12922,2
Verso	47,86	270	12922,2
T con MH	9,33	270	2519,1
T sin MH	34,78	270	9390,6

En la Tabla 20 se analiza el beneficio por hectárea obtenido en cada tratamiento. A los ingresos se les resta el coste total por hectárea, y el coste de recolección.

Tabla 20.- Beneficio para cada tratamiento y porcentaje respecto a PE.

Tratamiento	Ingresos (€/ha)	Coste total (€/ha)	Coste recolección (€/ha)	Beneficio (€/ha)	%
SP-1	12528,0	7796,28	2273,6	2458,1	98,22
SP-2	12528,0	7796,28	2273,6	2458,1	98,22
SP-3	12171,6	7796,28	2208,92	2166,4	86,57
Mater-Bi	12722,4	7796,28	2308,88	2617,2	104,58
PE	12025,8	7340,78	2182,46	2502,6	100,00
Mimcord	12922,2	7949,11	2345,14	2628,0	105,01
Verso	12922,2	7819,11	2345,14	2758,0	110,21
T con MH	2519,1	7073,11	457,17	-5011,2	-200,24
T sin MH	9390,6	7673,11	1704,22	13,3	0,53

Como era de esperar, el testigo con malas hierbas ha dado un beneficio negativo, debido a su baja producción (9,33 t/ha). El testigo desherbado manualmente ha dado 13 €/ha de beneficio, es decir, no ha habido pérdidas pero no ha ganado nada. El coste de la mano de obra para quitar hierbas (600 €/ha) es muy alto, y ello unido a un menor rendimiento, ha provocado que el beneficio sea nulo. Los materiales SP-1, SP-2 y SP-3, suponiendo que el precio del acolchado sea similar al de Mater-Bi, obtienen un beneficio menor que los acolchados con PE y Mater-Bi. El plástico biodegradable Mater-Bi obtiene un beneficio algo mayor que el tradicional acolchado de PE, y similar al acolchado de papel Mimcord. El tratamiento de papel Verso ha sido el que mayor beneficio ha obtenido. Estos resultados coinciden con el estudio de Pérez Lacasa (2008) sobre estos materiales en cultivo de tomate.

5.- CONCLUSIONES

Una vez expuestos y discutidos los resultados, extraemos las siguientes conclusiones:

- La técnica del acolchado, independientemente del material utilizado, del cultivo aumenta aumentó la temperatura del suelo respecto al no acolchado. De entre los materiales estudiados, el polietileno es fue el material que mas incrementó la temperatura, seguido de los plásticos biodegradables y finalmente los papeles.
- El acolchado no influye influyó en la altura de las plantas durante las primeras semanas de cultivo, pero si en cuanto la competencia de las malas hierbas se hace notar (a partir de los 54 días después de trasplante). Las plantas del acolchado plástico biodegradable SP-2 fueron las que mayor altura alcanzaron a los 83 días después de trasplante.
- En cuanto a generación de biomasa, los acolchados plásticos biodegradables fueron los que mas más peso seco por planta alcanzaron a los 97 días después de trasplante, seguidos del polietileno y de los papeles. El peso seco de los frutos fue similar en todos los tratamientos acolchados, y significativamente mayor que el tratamiento con malas hierbas.
- La eficacia en el control de malas hierbas fue del 100 % en todos los acolchados. Tan solo aparecieron plantas de *Portulaca oleracea* en los agujeros de las plantas de pimiento. Tanto los plásticos biodegradables como los papeles controlaron de forma similar al polietileno las malas hierbas, si bien se observó la presencia de algunas malas hierbas en las grietas de los acolchados de papel.
- La parte enterrada de los papeles se degradó rápidamente, mientras que la parte externa aguantó hasta finalizado el cultivo. Tras la cosecha, el acolchado de papel se incorporó al suelo y a los 202 días después de trasplante ya no quedaban restos. Hay que reseñar que estos materiales son frágiles y que por tanto pueden aparecer roturas fácilmente.
- La degradación de los nuevos plásticos biodegradables (SP-1, SP-2 y SP-3) y de Mater-Bi fue algo más lenta que los papeles, y entre ellos, SP-1 y Mater-Bi fueron los materiales que mas más aguantaron. Tras la cosecha se incorporaron al suelo, y a los 202 días después de trasplante quedaban en el terreno unos pocos restos. En resumen, aguantaron durante el ciclo de cultivo y posteriormente se degradándose más rápido los nuevos materiales de la casa Sphere (SP-1, SP-2 y SP-3) que Mater-Bi.
- El polietileno se mantuvo intacto durante todo el cultivo, y dejó una gran cantidad de residuos que de no ser retirados, podrían tardarán años en desaparecer.
- Los acolchados plásticos aumentaron la precocidad de la cosecha respecto al cultivo sin acolchado.
- La incidencia del soleado es fue mayor en los tratamientos acolchados que en el tratamiento con malas hierbas.
- En lo referente a producción total, todos los tratamientos acolchados se comportaron igual que el tradicional acolchado con polietileno. Como era de esperar, la producción del cultivo con malas hierbas fue significativamente menor que el resto de tratamientos sin malas hierbas

(acolchados y escarda manual). Como era de esperar, la competencia de las malas hierbas disminuye el rendimiento de la cosecha.

- El tipo de acolchado no influyó en el peso de los frutos, ni en su anchura.
- Los acolchados de papel dieron frutos de mayor longitud que el acolchado SP-2. Entre el resto de materiales, no hubo diferencias significativas en cuanto a longitud de fruto.
- En cuanto a grosor de carne y rendimiento en fruto, el tratamiento con malas hierbas fue el que mejores resultados obtuvo. Entre los tratamientos acolchados, SP-1 dio frutos de mayor grosor de carne que Mater-Bi y que el acolchado con polietileno. El rendimiento en carne no se vio influenciado por el tipo de material usado en el acolchado.
- El beneficio económico obtenido con los papeles fue mayor que con el resto, seguido de Mater-Bi y de polietileno. Al beneficio económico que se obtiene con los materiales biodegradables hay que añadirle el beneficio ambiental que supone la no contaminación del suelo con restos plásticos.

En resumen, tanto los materiales plásticos biodegradables (SP-1, SP-2, SP-3, Mater-Bi) como los acolchados de papel (Mimcord, Verso) son una alternativa al uso del polietileno para el acolchado en el cultivo de pimiento, comportándose de manera similar a este éste en campo, y reduciendo la contaminación del suelo que provocan los restos de acolchado polietileno. Una vez que el uso de estos materiales se incremente, su coste de producción se reducirá y serán económicamente más atractivos para el agricultor.

6.- BIBLIOGRAFIA

- ASCARD J., 1995. Thermal weed control by flaming: biological and technical aspects. Tesis doctoral. Department of Agricultural Engineering. Swedish University of Agricultural Sciences. Alnarp, Suecia.
- ASCASO, J. 2001. Espermátófitos de interés agronómico. Publicaciones Universitarias de Zaragoza. 116Pp.
- AULD B.A., 1994. Criterios económicos para el desarrollo del manejo de malezas. FAO Producción y Protección Vegetal-120.
- CASELEY J.C., 1994. Herbicidas. FAO Producción y Protección Vegetal-120.
- CHANDRA R., RUSTGI R., 1998. Biodegradable polymers. Prog. Polym. Sci. 23.
- CONTRERAS F., GRACIA J., GONZALEZ-BENEVENTE A., LOPEZ J., VARÓ P. 2004. Estudio económico sobre alternativas al acolchado tradicional de polietileno (PE) en el cultivo de melón en la región de Murcia. Agrícola Vergel, 80-86.
- CIRUJEDA A., AIBAR J., ZARAGOZA C., ANZALONE A., GUTIERREZ M., FERNANDEZ-CAVADA S., PARDO A., SUSO M.L., ROYO A., MARTÍN L., MORENO M.M., MORENO A., MECO R., LAHOZ I., MACUA J.I. 2008. Evaluación de acolchados para el control de flora arvense en un cultivo de tomate. VIII Congreso SEAE Bullas.
- CIRUJEDA A., AIBAR J., ZARAGOZA C., 2012. Alternativas al acolchado con polietileno en horticultura.
- COLQUHOVA J., BELLINDER R. 2003 Integrated Pest Management. On line: <http://www.hort.uconn.edu/ipm/weeds/htmls/weeders.htm> Fecha de consulta: 18/7/2012
- DEL CASTILLO JA., URIBARRI A., SÁDABA A., AGUADO G., SANZ DE GALDEANO J., 2004. Guía de cultivo del pimiento en invernadero. Navarra Agraria. Mayo-Junio 2004.
- DELGADO V. 2004. Comportamiento agronómico de pimiento California en tres épocas distintas. Trabajo final de carrera. Universidad Pública de Navarra.
- FAO (Food and Agriculture Organization). www.fao.org. Fecha de consulta: 17/7/2012
- FAOSTAT, 2013. www.faostat.fao.org. Fecha de consulta: 2/1/2014
- FONT QUER P., 1953. Diccionario de botánica. 1244pp. Ed Labor. Barcelona.
- GARCÍA TORRES L., FERNANDEZ QUINTANILLA C. 1991. Fundamentos sobre malas hierbas y herbicidas. Ed. MAPA-Mundiprensa, Madrid, 348pp.
- GELAGRI S.A.U. 2013. Estudio de costes y beneficio del cultivo de pimiento.
- Gobierno de Navarra. 2012. Meteorología y Climatología de Navarra.

http://meteo.navarra.es/climatologia/zona_sur.cfm#C

- Gobierno de Navarra. 2012. Estadísticas agrícolas.

http://www.navarra.es/home_es/Temas/Ambito+rural/Vida+rural/Observatorio+agrar+io/Agricola/Informacion+estadistica/produccion+agricola.htm

- Gobierno de Navarra. 2013. Meteorología y Climatología de Navarra. Clasificación climática de Papadakis.


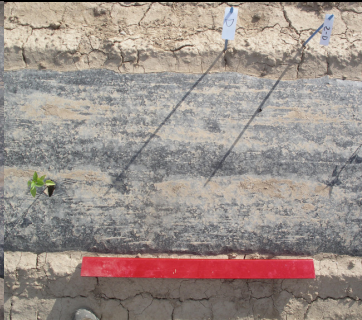
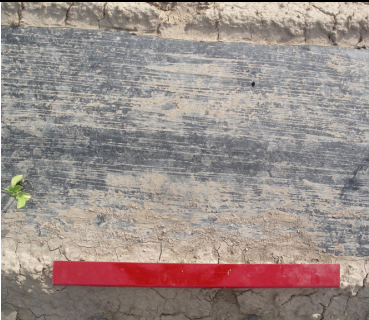









<http://meteo.navarra.es/definiciones/papadakis.cfm>

- GUTIERREZ M., MACUA JI., 2002. El cultivo de pimiento de industria en el Valle del Ebro. Jornada sobre mecanización del cultivo de pimiento para industria. Ejea de los Caballeros.
- GUTIERREZ M., VILLA F., COTRINA F., ALBALAT A., 2003. Informaciones Técnicas del Gobierno de Aragón. Número 130.
- GUTIERREZ M., BRUNA P., VALLÉS M. 2005. El cultivo de tomate de industria en Aragón. Informaciones Técnicas del Departamento de Agricultura y Alimentación del Gobierno de Aragón 163, 1-4.
- HATCHER PE., MELANDER B., 2003. Combining physical, cultural and biological methods: prospects for integrated non-chemical weed management strategies. Weed Research 43, 303-322.
- HOYOS P., MOLINA S., PALOMAR C., 2003. Comparación del acolchado plástico biodegradable con el estándar negro en pimiento de otoño cultivado al aire libre. XXXIII Seminario de técnicos y especialistas en horticultura. Badajoz.
- IBARRA L., FERNANDEZ J., RODRIGUEZ S., REYES A., DÍAZ J., HERNANDEZ J., FARÍAS J., 2000. Influencia del acolchado y del microtúnel en el microclima y el rendimiento de pimiento morrón y melón. Revista Fitotecnia México. Vol. 1-15.
- LABRADA R., PARKER C. 1994. El control de malezas en el contexto del manejo integrado de plagas. FAO Producción y Protección Vegetal-120.
- LOPEZ-MARÍN J., RODRIGUEZ C.M., GALVEZ A., GONZALEZ A., 2008. Acolchados biodegradables para prevenir contaminaciones edáficas y paisajísticas. VIII Congreso científico de SEAE. "Agricultura y Alimentación ecológica".
- MACUA J.I., LAHOZ I., CALVILLO S., GARNICA J., SANTOS A., DÍAZ E., 2005. Utilización de acolchados plásticos en tomate y pimiento. Navarra Agraria. Mayo-junio 2005.
- MACUA JI., LAHOZ I., BOZAL JM., SANTOS A., 2009. Evaluación de acolchados en un cultivo de pimiento. XXXIX Seminario de Técnicos y Especialistas en Horticultura. Tenerife.

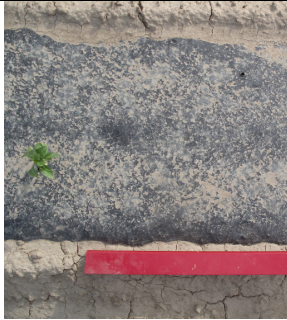



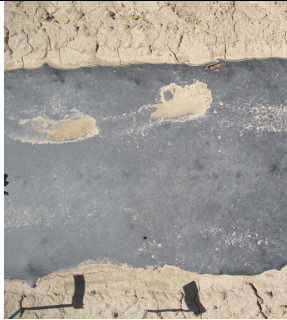


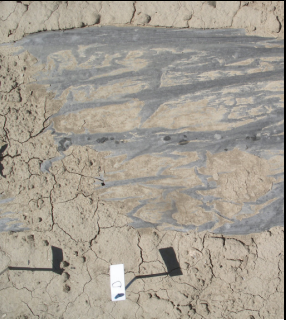








- MACUA JI., RODRIGUEZ JJ., 2011. Guía de cultivo del pimiento en riego por goteo. Navarra Agraria. Mayo-Junio 2011.
- MAESTRE D. 2003. Estudio de la resistencia a herbicidas en dos malas hierbas del arroz. Proyecto fin de carrera de la Escuela Politécnica Superior de Huesca. Huesca, 113pp.
- MAGRAMA (Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente). <http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/publicaciones/anuario-de-estadistica/2012/default.aspx?parte=3&capitulo=13&grupo=6&seccion=28>
- MAGRAMA (Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente). <http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/superficies-producciones-anuales-cultivos/>
- MEDINA J.A., MURILLO S., ALONSO S., ZARAGOZA C., 1993. Flora arvense asociada al cultivo del pimiento en la comunidad de Aragón. EWRS. Métodos alternativos de lucha contra las adventicias.
- MORENO M., MORENO A., MANCEBO I., VILLENA J. 2006. Materiales de acolchado en cultivo de pimiento. Horticultura Internacional 51, 12-18.
- NOVAMONT S.p.A. 2012. Escala de determinación de la degradación de plásticos biodegradables en campo.
- PAPASEIT P., 2001. Plásticos agrícolas en España. Horticultura 156, 22-35.
- PEREZ LACASA S., 2008. Evaluación de cubiertas biodegradables y restos vegetales para el control de malas hierbas en toáte de industria. Trabajo final de carrera de la Escuela Politécnica Superior de Huesca.
- PUJADAS A., HERNANDEZ J.E. 1988. Concepto de mala hierba. ITEA 75, 47-56.
- QUEZADA MR., MUNGUÍA J., DE LA ROSA-IBARRA M., FAZ R., 2000a. Uso de acolchados plásticos biodegradables en el crecimiento y desarrollo de un cultivo de melón. *phyton* 68, 21-29.
- QUEZADA MR., MUNGUÍA J., DE LA ROSA-IBARRA M., SANCHEZ-VALDEZ S., RODRIGUEZ JG. 2000 b. Comportamiento de películas plásticas fotodegradables para acolchado de suelo en la producción de tomate. *phyton* 68, 11-20.
- RAO VS., 1983. Principles of weed science. Oxford & IBH Publishing Co., Nueva Delhi. 541pp.
- SUSO ML., PARDO A., HERNANDEZ J., VILLA F., FERNANDEZ-CAVADA S., ZARAGOZA C. 2003. Diferentes sistemas de escarda en cultivo de tomate de industria. Actas de Horticultura 39. X Congreso Nacional de Ciencias Hortícolas. Pontevedra, 41-43.
- TRINCADO, E. 2004. Comportamiento agronómico del pimiento del piquillo en tres épocas de plantación. Trabajo final de carrera. Universidad Pública de Navarra.

- VILLALBA A., 2009. Resistencia a herbicidas. Glifosato. Ciencia, Docencia y Tecnología Nº39. Año XX.
- WILSON J., 1990. Black mulches go green. Grower 115, 12-15.
- ZARAGOZA C., PARDO A., SUSO ML., 1993. Alternativas a los herbicidas en el control de malas hierbas. EWRS. Métodos alternativos de lucha contra las adventicias.
- ZARAGOZA C., 1994. Las coberturas de suelo. Aplicación en frutales. Hortofruticultura. Mayo, 60-62.

Anexo 1.- Degradación zona externa.













	SP-1	SP-2	SP-3
8-junio			
25-junio			
10-julio			
17-agosto			










20-septiembre			
6-noviembre			
13-diciembre			






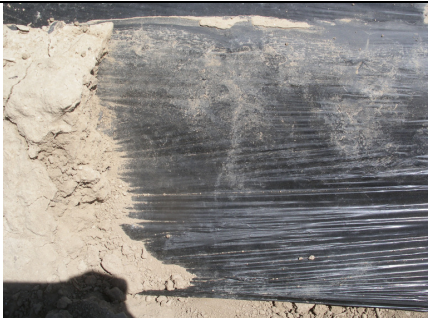
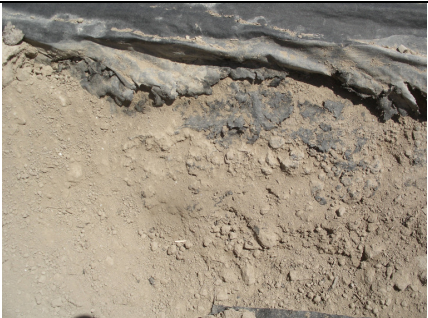

	Mater-Bi	PE	Mimcord	Verso
8-junio				
25-junio				
10-julio				
17-agosto				

20-septiembre				
6-noviembre				
13-diciembre				

Anexo 2.- Degradación zona enterrada.

	SP-1	SP-2	SP-3
8-junio			
25-junio			
10-julio			
17-agosto			

20-septiem bre			
6-noviem bre			
13-diciembre			

	Mater-Bi	PE	Mimcord	Verso
8-junio				
25-junio				

10-julio				
17-agosto				
20-septiembre				

6-noviembre				
13-diciembre				